



В. Б. Захаров, С. Г. Мамонтов,
Н. И. Сонин, Е. Т. Захарова

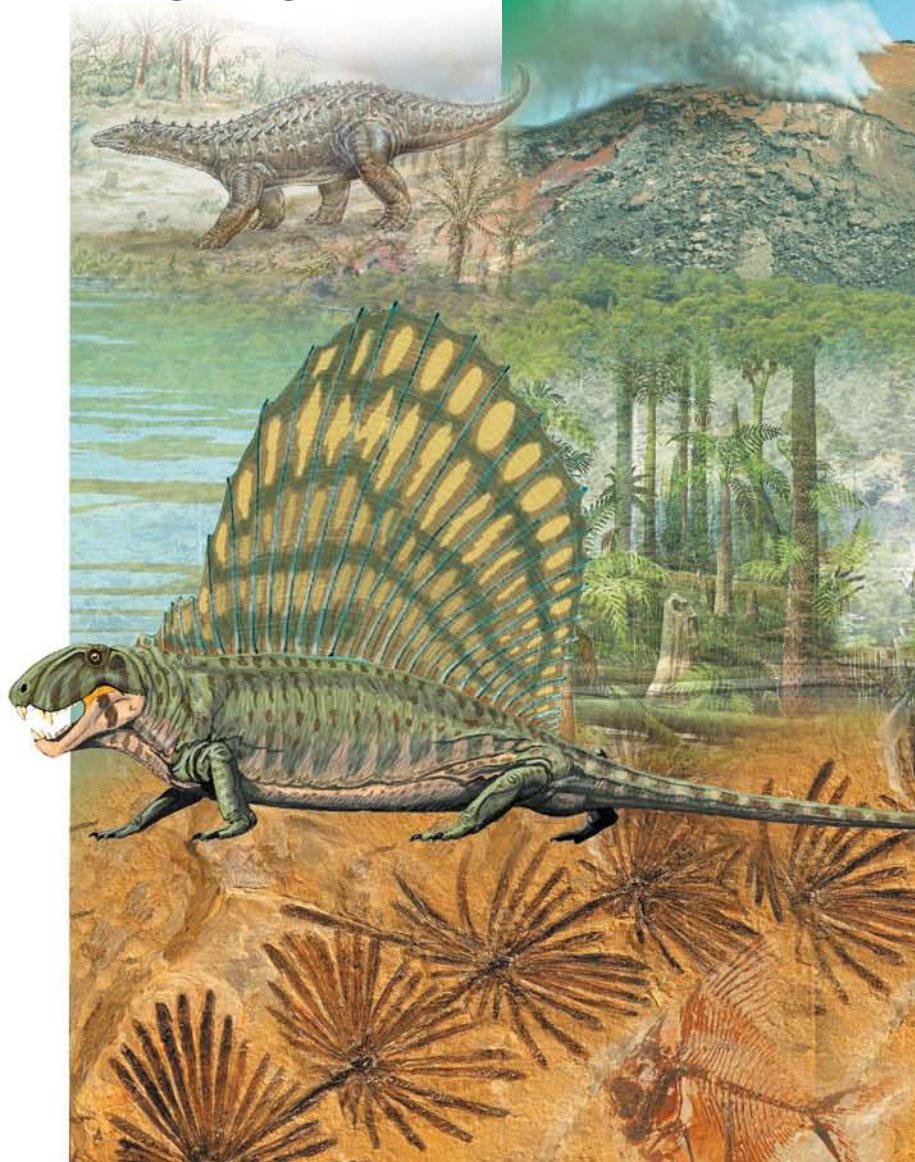
УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВЕНЬ

11

к л а с с

БИОЛОГИЯ

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ



В. Б. Захаров, С. Г. Мамонтов,
Н. И. Сонин, Е. Т. Захарова

БИОЛОГИЯ

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

УГЛУБЛЁННЫЙ УРОВЕНЬ

Учебник

*Под научной редакцией
академика РАН,
профессора В. Б. Захарова*

Допущено
Министерством просвещения
Российской Федерации

7-е издание, стереотипное

11
класс

Москва
«Просвещение»
2022

УДК 373.167.1:57+57(075.3)
ББК 28.0я721
3-38

Издание выходит в pdf-формате.

Захаров, Владимир Борисович.

3-38 Биология. Общая биология. 11 класс : углублённый уровень : учебник : издание в pdf-формате / В. Б. Захаров, С. Г. Мамонтов, Н. И. Сонин, Е. Т. Захарова ; под ред. В. Б. Захарова. — 7-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2022. — 266, [6] с. : ил.

ISBN 978-5-09-101683-3 (электр. изд.). — Текст : электронный.

ISBN 978-5-09-088096-1 (печ. изд.).

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования и рассчитан на преподавание предмета 3—5 часов в неделю.

Учебник знакомит учащихся с важнейшими закономерностями живого мира. Он даёт представление об эволюции органического мира, взаимоотношениях организма и среды.

Учебник адресован учащимся 11 класса.

УДК 373.167.1:57+57(075.3)
ББК 28.0я721

ISBN 978-5-09-101683-3 (электр. изд.)
ISBN 978-5-09-088096-1 (печ. изд.)

© АО «Издательство «Просвещение», 2021
© Художественное оформление.
АО «Издательство «Просвещение», 2021
Все права защищены

Предисловие

Дорогие друзья!

Мы продолжаем изучение основ общебиологических знаний, начатое в 10 классе. Объектами нашего внимания будут этапы исторического развития живой природы — эволюция жизни на Земле и становление и развитие экологических систем. Для изучения этих важнейших вопросов вам в полном объёме понадобятся знания, приобретённые в прошлом году, так как в основе процессов развития лежат закономерности наследственности и изменчивости. Особое внимание в учебнике уделяется генетическим механизмам эволюции, анализу взаимоотношений между организмами и условиям устойчивости экологических систем.

Не будет преувеличением сказать, что на протяжении последних пятидесяти лет биология развивается заметно быстрее всех остальных наук. Революция в биологии началась в 50-х — начале 60-х гг. XX в., когда после долгих трудов и усилий учёные наконец сумели понять материальную природу наследственности. Расшифровка структуры ДНК и генетического кода поначалу была воспринята как разгадка Главной Тайны Жизни. Но история показала, что великие открытия середины прошлого века вовсе не дали окончательных ответов на все вопросы, стоявшие перед биологией. Они, по выражению известного учёного и популяризатора науки д. б. н. А. В. Маркова, стали скорее волшебным «золотым ключиком», открывшим таинственную дверь, за которой обнаружились новые лабиринты неведомого.

Поток новых открытий не иссякает и в наши дни. Новых знаний так много, что почти все рабочие гипотезы, обобщения, правила, законы постоянно приходится пересматривать и совершенствовать. Однако классические концепции редко отбрасываются полностью. Обычно речь идёт о расширениях и уточнениях пределов их применения; так же, например, в физике теория относительности вовсе не отменила ньютоновскую картину мира, а уточнила, дополнила и расширила её.

Эволюция — научный факт. В этом отношении биологи вполне единодушны; более того, считается необходимым рассмотрение любых биологических вопросов в самых разных областях знания через призму эволюционного учения. То, что эволюция идёт самопроизвольно, без контроля со стороны разумных сил, по естественным причинам, — это общепринятая, отлично работающая гипотеза, отказ от которой крайне нежелателен, потому что он сделал бы живую природу в основном непознаваемой. Детали, механизмы, движущие силы, закономерности, пути эволюции — вот главный предмет исследований биологов в наши дни.

Что представляет собой сегодня совокупность принятых научным сообществом представлений об эволюции? Часто её называют дарвинизмом, но на исходное учение Дарвина уже наложилось столько уточнений, дополнений и переосмыслений, что такое наименование только сбивает с толку.

Иногда эту совокупность пытаются приравнять к синтетической теории эволюции (СТЭ). Дальнейшее развитие эволюционной биологии не опровергло достижений прошлого, не было и никакого «краха дарвинизма», о котором так любят толковать далёкие от биологии журналисты и писатели, однако, последующие открытия существенно изменили наши представления о процессе эволюции. Это нормальный процесс развития науки, так и должно быть.

Круг вопросов, с которыми вы познакомитесь в 11 классе, очень широк, однако не все из них в учебнике подробно освещены. Для более тщательного изучения тех или иных вопросов биологии в конце книги дан список дополнительной литературы. Кроме того, не все закономерности известны или до конца изучены, ведь сложность и многообразие жизни столь велики, что одни её явления мы только начинаем понимать, а другие ещё ждут изучения.

Работая с учебником, постоянно оценивайте свои достижения. Довольны ли вы ими? Что нового вы узнаете при изучении новой темы? Как могут пригодиться вам эти знания в повседневной жизни? Если какой-то материал покажется вам сложным, обратитесь за помощью к учителю или воспользуйтесь справочной литературой и ресурсами Интернета. Список рекомендуемых интернет-сайтов вы найдёте в конце учебника.

Авторы выражают благодарность Ю. П. Дашкевичу и профессору А. Г. Муштафину за ценные замечания, сделанные ими при подготовке настоящего издания учебника.

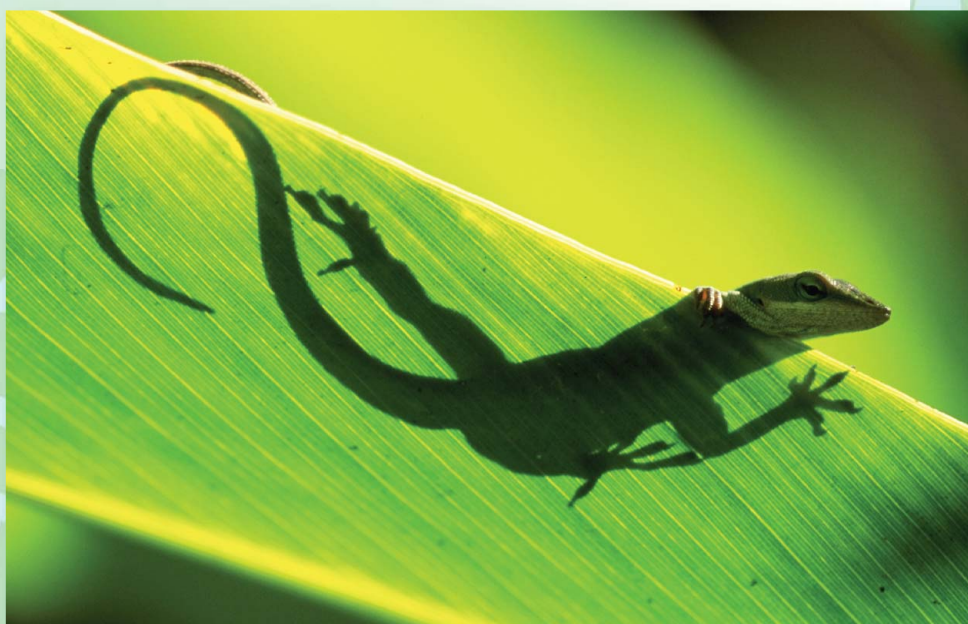
*Лауреат премии Президента РФ в области образования,
академик РАН, профессор В. Б. Захаров*

Учение об эволюции органического мира

Мир живых организмов обладает рядом общих черт, которые всегда вызывали у человека чувство изумления. Во-первых, это необычайная сложность строения организмов, во-вторых, очевидно прогрессивное усложнение на протяжении развития жизни на Земле и приспособительный характер многих признаков, в-третьих, огромное разнообразие жизненных форм. Вопросы, порождаемые этими явлениями, совершенно очевидны.

Каким образом возникли сложные организмы? Под действием каких сил сформировались их приспособительные признаки? Каково происхождение разнообразия органического мира и как оно поддерживается? Какое место в органическом мире занимает человек и кто его предки?

Во все века человечество пыталось найти ответы на приведённые здесь и многие другие подобные вопросы. В донаучных обществах объяснения выливались в легенды и мифы, некоторые из них послужили основой различных религиозных учений. Научная трактовка воплощена в теории эволюции, которой и посвящён настоящий раздел.



Закономерности развития живой природы. Эволюционное учение

Всё есть и не есть, потому что, хотя и настанет момент, когда оно есть, но оно тут же перестаёт быть... Одно и то же и молодо и старо, и мёртво и живо, то изменяется в это, это, изменяясь, снова становится тем.

Гераклит



Основной труд Ч. Дарвина «Происхождение видов», в корне изменивший представление о живой природе, появился в 1859 г. Этому событию предшествовала более чем двадцатилетняя работа по изучению и осмысливанию богатого фактического материала, собранного как самим Дарвином, так и другими учёными. В этой главе вы познакомитесь с основными предпосылками эволюционных представлений и первой эволюционной теорией Ж. Б. Ламарка; узнаете о теории Ч. Дарвина об искусственном и естественном отборе, а также о современных представлениях о механизмах и скорости видообразования.

В настоящее время описано более 350 тыс. видов растений и не менее 2,5 млн видов животных, около 100 тыс. видов грибов и более 8 тыс. прокариот, а также до 800 видов вирусов. Исходя из соотношения описанных и не определённых пока современных видов живых организмов, учёные делают предположение о том, что в современной флоре и фауне представлено около 4,5 млн видов организмов. Кроме того, используя палеонтологические и некоторые другие данные, исследователи подсчитали, что за всю историю Земли на ней обитало не меньше 1 млрд видов живых организмов.

Рассмотрим, как в различные периоды истории человечества люди представляли себе сущность жизни, многообразие живого и возникновение новых форм организмов.

1.1. История представлений о развитии жизни на Земле

Первая попытка систематизировать и обобщить накопленные знания о растениях и животных и их жизнедеятельности была осуществлена Аристотелем (IV в. до н. э.), но ещё задолго до него в литературных памятниках различных народов древности излагалось много интересных сведений об организации живой природы, главным образом связанных с агрономией, животноводством и медициной. Сами же биологические знания уходят корнями в глубокую древность и базируются на непосредственной практической деятельности людей. По наскальным рисункам кроманьонского человека (около 20—30 тыс. лет до н. э.) можно установить, что уже в то время люди хорошо различали большое число животных, служивших объектом их охоты.

1.1.1. Античные и средневековые представления о сущности и развитии жизни

В Древней Греции в VIII—VI вв. до н. э. в недрах целостной философии природы возникли первые зачатки античной науки. Основоположники греческой философии Фалес, Анаксимандр, Анаксимен и Гераклит искали материальное первоначало, из которого в силу естественного саморазвития возник мир. Для Фалеса этим первоначалом была вода. Живые существа, согласно учению Анаксимандра, образуются из неопределённой материи — «апейрона» по тем же законам, что и объекты неживой природы. Третий ионийский философ, Анаксимен, считал материальным первоначалом мира воздух, из которого всё возникает и в который всё возвращается обратно. Душу человека он также отождествлял с воздухом.

Величайшим из древнегреческих философов был Гераклит из Эфеса. Его учение не содержит специальных положений о живой природе, однако оно имело огромное значение как для развития всего естествознания, так и для становления представлений о живой материи. Гераклит впервые ввёл в философию и науку о природе чёткое представление о постоянном изменении. Первоначалом мира учёный считал огонь. Он учил, что всякое изменение в природе вообще есть результат борьбы: «Всё возникает через борьбу и по необходимости».

Большое влияние на развитие представлений о живой природе оказали исследования и умозрительные концепции других учёных Античности: Пифагора, Эмпедокла, Демокрита, Гиппократ и многих других.



Рис. 1.1. Лестница Аристотеля

В Древнем мире были собраны многочисленные для того времени сведения о живой природе. Систематическим изучением животных занимался Аристотель, описавший более 500 видов животных и расположивший их в определённом порядке: от просто устроенных ко всё более сложным. Намеченная Аристотелем последовательность начинается с неорганических тел и через растения идёт к прикрепленным животным — губкам и асцидиям, а затем к свободно-подвижным морским организмам. Аристотель и его ученики также изучали строение растений (рис. 1.1).

Во всех телах природы Аристотель различал две стороны — материю, обладающую различными возможностями, и форму — душу, под влиянием которой реализуется данная возможность материи. Он различал три вида души: растительную, или питающую, присущую растениям и животным; чувствующую, свойственную животным, и разум, которым, помимо двух первых, наделён только человек.

На протяжении всего Средневековья труды Аристотеля были основой представлений о живой природе.

С установлением господства христианской церкви в Европе распространяется официальная точка зрения, основанная на библейских текстах: всё живое создано Богом и остаётся неизменным. Такое направление в развитии биологии Средневековья называют *креационизмом* (от лат. creatio — создание, творение). Характерной чертой этого периода является описание существующих видов растений и животных, попытки их классификации, которые в большинстве своём носили чисто формальный (по алфавиту) или прикладной (по характеру использования человеком) характер. Было создано множество систем классификаций животных и растений, в которых за основу произвольно принимались отдельные признаки.

Интерес к биологии возрос в эпоху Великих географических открытий (XV в.) и развития товарного производства. Интенсивная торговля и открытие новых земель расширяли сведения о животных и растениях. Из Индии и Америки в Европу завезли новые растения: корицу, гвоздику, картофель, кукурузу, табак. Ботаники и зоологи описывали множество новых невиданных ранее растений и животных. В практических целях они указывали, какими полезными или вредными свойствами обладают эти организмы.

1.1.2. Система органической природы К. Линнея

Потребность в упорядочении быстро накапливающихся знаний привела к необходимости систематизировать их. Создаются практические системы, в которых растения и животные объединяют в группы в зависимости от их пользы для человека или приносимого ими вреда. Например, выделяли лекарственные растения, садовые или огородные культуры. Понятия «домашний скот» или «ядовитые животные» служили для обозначения самых разных по своему строению и происхождению животных. Вследствие удобства практическая классификация видов применяется до сих пор.

Однако учёных классификация живых организмов по такому признаку удовлетворить не могла. Они искали свойства, которые позволили бы объединять растения и животных в группы по сходству в строении и жизнедеятельности. Первоначально в основу систематики брали один или небольшое число произвольно выбранных признаков. Понятно, что при этом в одну и ту же группу попадали совершенно неродственные организмы.

На протяжении XVI—XVII вв. продолжалась работа по описанию животных и растений, их систематизации. Большой вклад в создание системы природы внёс выдающийся шведский естествоиспытатель Карл Линней. Учёный описал более 8 тыс. видов растений, установил единообразную терминологию и порядок описания видов. Он объединил сходные виды в роды, сходные роды — в отряды, а отряды — в классы. Таким образом, в основу своей классификации он положил принцип *иерархичности* (соподчинённости) таксонов (от греч. taxis — расположение в порядке). Таксон — это систематическая единица того или иного ранга. В системе Линнея самым крупным таксоном был класс, самым мелким — вид, разновидность (рис. 1.2). Это был чрезвычайно важный шаг на пути к установлению естественной системы. Линней закрепил использование в науке *бинарной* (т. е. двойной) *номенклатуры* для обозначения видов. С тех пор каждый вид называется двумя словами: первое слово означает род и является общим для всех входящих в него видов, а второе слово — собственно видовое название. С развитием науки в систему были введены некоторые дополнительные категории — семейство, подкласс и др., а высшим таксоном стал тип. Но принцип построения системы остался неизменным. Например, систематическое положение домашней кошки можно описать следующим образом. Кошка домашняя (либийская) входит в род мелких кошек семейства кошачьих отряда хищных класса млекопитающих подтипа позвоночных



Рис. 1.2. Система Линнея

типа хордовых. Наряду с домашней кошкой род мелких кошек включает европейскую дику лесную кошку, амурского лесного кота, камышового кота, рысь и некоторых других.

Линней создал самую совершенную для того времени систему органического мира, включив в неё всех известных тогда животных и все известные растения. Будучи крупным учёным, он во многих случаях правильно объединил виды организмов по сходству строения. Однако произвольность в выборе признаков для классификации (число и строение тычинок у растений, строение клюва у птиц, строение зубов у млекопитающих) привела Линнея к ряду ошибок.

Линней сознавал искусственность своей системы и указывал на необходимость разработки естественной системы природы. Он писал: «Искусственная система служит только до тех пор, пока не найдена естественная».

Однако что означало для учёного XVIII в. понятие «естественная система»? Как теперь известно, *естественная система* отражает происхождение животных и растений и основана на их родстве и сходстве по совокупности существенных черт строения. Во времена господства религиозных представлений учёные полагали, что виды организмов созданы независимо друг от друга Творцом и неизменны. «Видов столько, — говорил Линней, — сколько различных форм создал в начале мира Всемогуший». Поэтому поиски естественной системы природы означали для биологов попытки проникновения в план творения, которым руководствовался Бог, создавая всё живое на Земле. Совершенство строения видов, взаимное соответствие внутренних органов, приспособленность к условиям существования объяснялись мудростью Творца.

Однако среди философов и естествоиспытателей XVII—XIX вв. была распространена и иная система представлений об изменяемости организмов, базировавшаяся на взглядах некоторых античных учёных. Такое направление в развитии биологии носит название *трансформизм* (от лат. *transformo* — превращаю, преобразую). Сторонниками трансформизма были такие выдающиеся учёные, как Р. Гук, Ж. Ламетри, Д. Дидро, Ж. Бюффон, Эразм Дарвин, И. В. Гёте и многие другие. Трансформисты допускали возможность целесообразности реакций организмов на изменения внешних условий, но не объясняли эволюционные преобразования организмов.

1.1.3. Развитие эволюционных идей. Эволюционная теория Ж.-Б. Ламарка

Несмотря на господство взглядов о неизменности живой природы, биологи, кто осмысленно, а кто и бессознательно, продолжали накапливать фактический материал, который противоречил этим представлениям. Открытие микроскопа в XVII в. и его применение в биологических исследованиях сильно расширили кругозор учёных. Возникли цитология и гистология, оформилась как наука эмбриология. Из кладоискательства и археологии выделилась палеонтология. Множество фактов, свидетельствующих об изменяемости живой природы, требовали объяснения. Учёным, создавшим первую эволюционную теорию, был выдающийся французский естествоиспытатель Жан-Батист Ламарк.

В отличие от многих своих предшественников, Ламарк в своей теории эволюции опирался на факты. Мысль о непостоянстве видов возникла у него вследствие глубокого изучения строения растений и животных.

Своими трудами Ламарк внёс большой вклад в биологию. Занимаясь систематикой животных, учёный обратил внимание на сходство существенных черт строения у животных, не относящихся к одному виду. На основе сходства учёный выделил 10 классов беспозвоночных вместо двух классов у Линнея: Насекомые и Черви (рис. 1.3). Среди них такие группы, как Ракообразные, Паукообразные, Насекомые, сохранились до наших дней, а другие — Моллюски, Кольчатые черви — возведены в ранг типа.

Известное несовершенство систематики Ламарка объясняется невысоким уровнем развития науки того времени, но в ней есть главное — стремление избежать искусственности группировок. Можно сказать, что Ламарк заложил основы естественной системы классификации. Он же впервые поставил вопрос о причинах сходства и возникновения различий у животных: «Мог ли я рассматривать... ряд животных от самых совершенных из них до несовершеннейших, — писал Ламарк, — и не попытаться установить, от чего может зависеть этот столь замечательный факт? Не должен ли был я предположить, что природа последовательно создавала различные тела, восходя от простейшего к наиболее сложному?» Обратим внимание на слова «природа создавала». Впервые со времён Лукреция учёный осмеливается сказать, что не Бог создавал организмы разной степени сложности, а природа на основе естественных законов привела к появлению на Земле огромного разнообразия живых организмов.

Ламарк приходит к эволюционной идее. Величайшая его заслуга заключается в том, что эта идея у него тщательно разработана, подкреплена многочисленными фактами и поэтому превращается в *теорию*. В основу её положено представление о развитии, постепенном и медленном, от простого к сложному, и о важной роли факторов внешней среды в преобразовании организмов.

В своём основном труде «Философия зоологии», опубликованном в 1809 г., Ламарк приводит многочисленные доказательства изменяемости

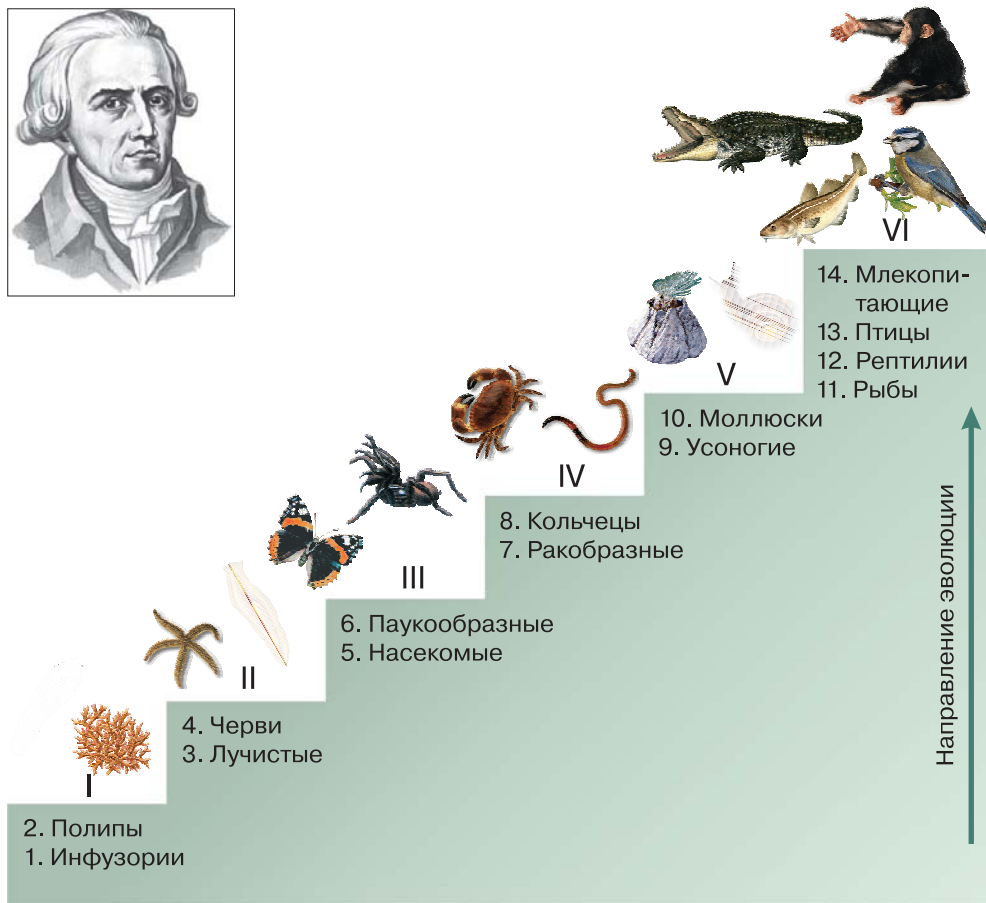


Рис. 1.3. Система Ламарка

видов. К числу таких доказательств он относит изменения под влиянием одомашнивания животных и окультуривания растений, при переселении организмов в другие места обитания с иными условиями существования. Важную роль в возникновении новых видов Ламарк отводит постепенным переменам гидрогеологического режима на поверхности Земли и климатических условий. Таким образом, в анализ биологических явлений Ламарк включает два новых фактора — фактор времени и условия внешней среды. Это был большой шаг вперёд по сравнению с механистическими представлениями сторонников неизменности видов.

Однако каковы же механизмы изменчивости организмов и образования новых видов? Ламарк считал, что их два: во-первых, стремление организмов к совершенствованию, а во-вторых, прямое влияние условий внешней среды на развитие признаков и наследование качеств, приобретённых в течение жизни организма.

По мнению учёного, каждому организму присуще данное свыше стремление к совершенствованию, которое реализуется особью путём упражнения (или неупражнения) органов, подобно тому как спортсмен, стремящийся к высоким результатам, совершенствует своё мастерство. В результате подобных усилий происходит изменение того или иного признака, передающегося потомству. Так, небольшие однонаправленные изменения суммируются в ряду поколений в течение многих десятков тысяч лет и через множество поколений приводят к появлению новых форм.

Причиной многообразия живого Ламарк считал воздействие различных факторов среды. Реакции организма на это воздействие соответствуют изменениям среды и передаются по наследству. Например, при скудном травяном покрове жирафы вынуждены ощипывать листья с деревьев, постоянно вытягивая шею, чтобы достать их. Действие из поколения в поколение подобной привычки привело к тому, что передние ноги жирафов оказались длиннее задних, а шея значительно вытянулась (рис. 1.4). Подобным образом объясняли и наличие перепонки между пальцами у водоплавающих птиц или удлинение языка у муравьедов. Ламарк считал, что новые признаки всегда полезны и наследуются.

Это представление об изначальной целесообразности любой реакции на изменённые условия, так же как и мнение о прямом воздействии окружающей среды на эволюционные процессы и внутреннем стремлении организмов к прогрессу, оказалось ошибочным. Ламарк подчёркивал роль условий среды в возникновении фенотипических приспособлений организмов, но, хотя эти приобретённые признаки изменяют фенотип, они, не оказывая влияния на генотип, не могут передаваться потомству.

Взгляды Ламарка на механизм эволюции оказались ошибочными. Пути приспособления живых организмов к окружающей среде и видообразования спустя 50 лет вскрыл Ч. Дарвин.

Огромная заслуга Ламарка заключается в том, что он создал первую теорию эволюции органического мира, ввёл принцип историзма как усло-

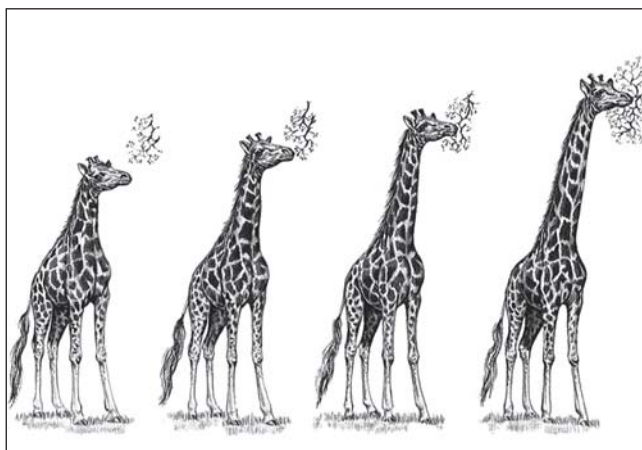


Рис. 1.4. По представлениям Ламарка, удлинение шеи жирафа произошло в результате упражнения органов

вие понимания биологических явлений и выдвинул в качестве главной причины изменяемости видов условия внешней среды.

Теория Ламарка не получила признания современников. В его время наука не была готова к принятию идеи эволюционных преобразований, а сроки, о которых говорил учёный — сотни тысяч и даже миллионы лет, — казались невообразимыми. Доказательства причин изменяемости видов не были достаточно убедительными. Отводя решающую роль в эволюции прямому влиянию внешней среды, упражнению и неупражнению органов и наследованию приобретённых признаков, Ламарк не мог объяснить возникновения приспособлений, обусловленных «мёртвыми» структурами. Например, окраска скорлупы птичьих яиц носит явно приспособительный характер, но объяснить этот факт с позиций теории Ламарка невозможно. Теория Ламарка исходила из представлений о слитной наследственности, свойственной целому организму и каждой из его частей. Идея о том, что наследственность — свойство организма как целого, была возрождена в трудах Т. Д. Лысенко в 30-е годы XX века. Открытие вещества наследственности — ДНК — устранило самый предмет спора, в результате ламаркизм и неоламаркизм рухнули сами собой.

Таким образом, хотя представления о неизменности видов не были поколеблены, их сторонникам становилось всё труднее объяснять новые и новые факты, открываемые биологами.

В первой четверти XIX в. были сделаны большие успехи в сравнительной анатомии и палеонтологии. Большие заслуги в развитии этих областей биологии принадлежат французскому учёному Жоржу Кювье. Исследуя строение органов позвоночных животных, он установил, что все органы животного представляют собой части одной целостной системы. Вследствие этого строение каждого органа закономерно соотносится со строением всех других. Ни одна часть тела не может изменяться без соответствующего изменения других частей. Это означает, что каждая часть тела отражает принципы строения всего организма. Так, если у животного имеются копыта, вся его организация отражает травоядный образ жизни: зубы приспособлены к перетиранию грубой растительной пищи, челюсти имеют определённую форму, желудок многокамерный, кишечник очень длинный и т. д. Если у животного кишечник служит для переваривания мяса, соответствующее строение имеют и другие органы: острые зубы для разрывания, челюсти для захвата и удержания добычи, когти для её схватывания, гибкий позвоночник, способствующий прыжкам, и т. д. Соответствие строения органов животных друг другу Кювье назвал принципом корреляций (соотносительности). Руководствуясь принципом корреляций, учёный успешно изучал кости вымерших животных и восстанавливал их облик и образ жизни.

Палеонтологические данные неопровержимо свидетельствовали о смене форм животных на Земле. Факты вступали в противоречие с библейской легендой. Первоначально сторонники неизменности живой природы объясняли такое противоречие очень просто: вымерли те животные, которых Ной не взял в свой ковчег во время Всемирного потопа. О подобных рассуждениях Дарвин впоследствии с иронией запишет в своём дневнике: «Теория,

по которой мастодонт и пр. вымерли по той причине, что дверь в ковчег Ноя была сделана слишком узкой». Ненаучность ссылок на библейский потоп стала очевидной, когда была установлена разная степень древности вымерших животных. Тогда Кювье выдвинул теорию катастроф. Согласно этой теории причиной вымирания были периодически происходившие крупные геологические катастрофы, уничтожавшие на больших территориях животных и растительность. Потом эти территории заселялись видами, проникавшими из соседних областей. Последователи и ученики Ж. Кювье, развивая его учение, утверждали, что катастрофы охватывали весь земной шар. После каждой катастрофы следовал новый акт творения. Таких катастроф и, следовательно, актов творения они насчитывали более двух десятков.

Теория катастроф получила широкое распространение. Однако были учёные, которые сомневались в теории, которая, по словам Энгельса, «на место одного акта божественного творения... ставила целый ряд повторных актов творения и делала из чуда существенный рычаг природы». К числу таких учёных относились русские биологи К. Ф. Рулье и Н. А. Северцов. Экологические исследования Рулье и изучение географической изменчивости видов Северцовым привели их к мысли о возможности родства между видами и происхождении одного вида от другого. Труды Н. А. Северцова высоко оценивал Ч. Дарвин.

Спорам приверженцев неизменности видов и стихийных эволюционистов положила конец глубоко продуманная и фундаментально обоснованная теория видообразования, созданная Ч. Дарвином.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- В античную эпоху бытовали стихийно-материалистические представления о живой природе.
- Доминирующими в Средние века были представления о создании мира Творцом и неизменности живой природы.
- Эволюционной единицей Ламарк считал отдельный организм.
- Всю живую природу Ламарк рассматривал как непрерывный ряд изменяющихся от простого к сложному форм — градаций.
- Достижения в области палеонтологии внесли существенный вклад в развитие эволюционных идей.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что такое практическая система классификации живых организмов?
- 2 Какой вклад внёс в развитие биологии К. Линней?

- 3 Почему система Линнея называется искусственной?
- 4 Изложите основные положения эволюционной теории Ж.-Б. Ламарка.
- 5 Какие вопросы не получили ответа в эволюционной теории Ламарка?
- 6 В чём сущность принципа корреляций Ж. Кювье? Приведите примеры.
- 7 В чём заключаются отличия трансформизма от эволюционной теории?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Что было известно о живой природе в Древнем мире?
- 2 Чем можно объяснить господство представлений о неизменности видов в XVIII в.?
- 3 Как объяснил Ж. Кювье палеонтологические данные о смене форм животных на Земле? Изложите суть теории катастроф Кювье.
- 4 Какой вклад в биологию внёс Ж.-Б. Ламарк?

1.2. Предпосылки возникновения теории Ч. Дарвина

Чтобы полнее оценить всё значение переворота в биологической науке, совершённого Ч. Дарвином, обратим внимание на состояние науки и социально-экономические условия первой половины XIX в., когда создавалась теория естественного отбора.

1.2.1. Естественно-научные предпосылки теории Ч. Дарвина

XIX век был периодом открытия фундаментальных законов мироздания. К середине века в естествознании было сделано много крупных открытий. Французский учёный П. Лаплас математически обосновал теорию И. Канта о развитии Солнечной системы (см. 10 класс, гл. 2¹). Идею развития вносит в философию Г. Гегель. А. И. Герцен в «Письмах об изучении природы», изданных в 1845—1846 гг., изложил идею исторического развития природы от неорганических тел до человека. Он утверждал, что в естествознании верными обобщениями могут быть лишь те, которые основываются на принципе исторического развития. Были открыты законы сохранения

¹ Здесь и далее: Захаров В. Б., Мамонтов С. Г., Сонин Н. И., Захарова Е. Т. Биология. Общая биология. Углублённый уровень. 10 класс. — М.: Дрофа, 2017.

энергии, утвердился принцип атомного строения химических элементов. В 1861 г. А. М. Бутлеров создаёт теорию строения органических соединений. Пройдёт немного времени, и Д. И. Менделеев (1869) опубликует свою знаменитую Периодическую систему элементов. Такова была научная обстановка, в которой работал Ч. Дарвин. Рассмотрим предпосылки его учения.

Геологические предпосылки. Геолог Чарльз Лайель доказал несостоятельность представлений Кювье о внезапных катастрофах, изменяющих поверхность Земли, и обосновал противоположную точку зрения. Он считал, что поверхность планеты изменяется непрерывно и не под влиянием каких-то особых сил, а под действием обычных повседневных факторов — колебаний температуры, ветра, дождя, прибое и жизнедеятельности растительных и животных организмов. К числу постоянно действующих природных факторов Лайель отнёс землетрясения, извержения вулканов.

Сходные мысли задолго до Лайеля высказывали М. В. Ломоносов в своём труде «О слоях земных» и Ж.-Б. Ламарк. Но Лайель подкрепил свои взгляды многочисленными и вескими доказательствами. Теория Лайеля оказала большое влияние на формирование мировоззрения Дарвина.

Достижения в области цитологии и эмбриологии. В биологии был сделан ряд крупных открытий, которые оказались несовместимыми с представлениями о неизменяемости природы и отсутствии родства между видами. Клеточная теория М. Шлейдена и Т. Шванна показала, что в основе строения всех живых организмов лежит единообразный структурный элемент — клетка.

Исследования развития зародышей позвоночных позволили обнаружить у эмбрионов птиц и млекопитающих жаберные дуги и жаберное кровообращение, что наталкивало на мысль о родстве рыб, птиц, млекопитающих и происхождении наземных позвоночных от предков, ведущих водный образ жизни. Русский академик Карл Бэр показал, что развитие всех организмов начинается с яйцеклетки и что на ранних стадиях развития обнаруживается поразительное сходство в строении зародышей животных не только в пределах класса, но и относящихся к разным классам (рис. 1.5).

В развитии биологии большую роль сыграла разработанная Ж. Кювье теория типов. Хотя учёный был убеждённым сторонником неизменности видов, установленное им сходство строения животных в пределах типа указывало на их возможное родство и происхождение от одного корня.

Итак, в самых разных областях естествознания (геология, палеонтология, биогеография, эмбриология, сравнительная анатомия, учение о клеточном строении организмов) собранные учёными материалы противоречили представлениям о божественном происхождении и неизменяемости природы. Правильно объяснить все эти факты, обобщить их, создать теорию эволюции сумел великий английский учёный Чарльз Дарвин.

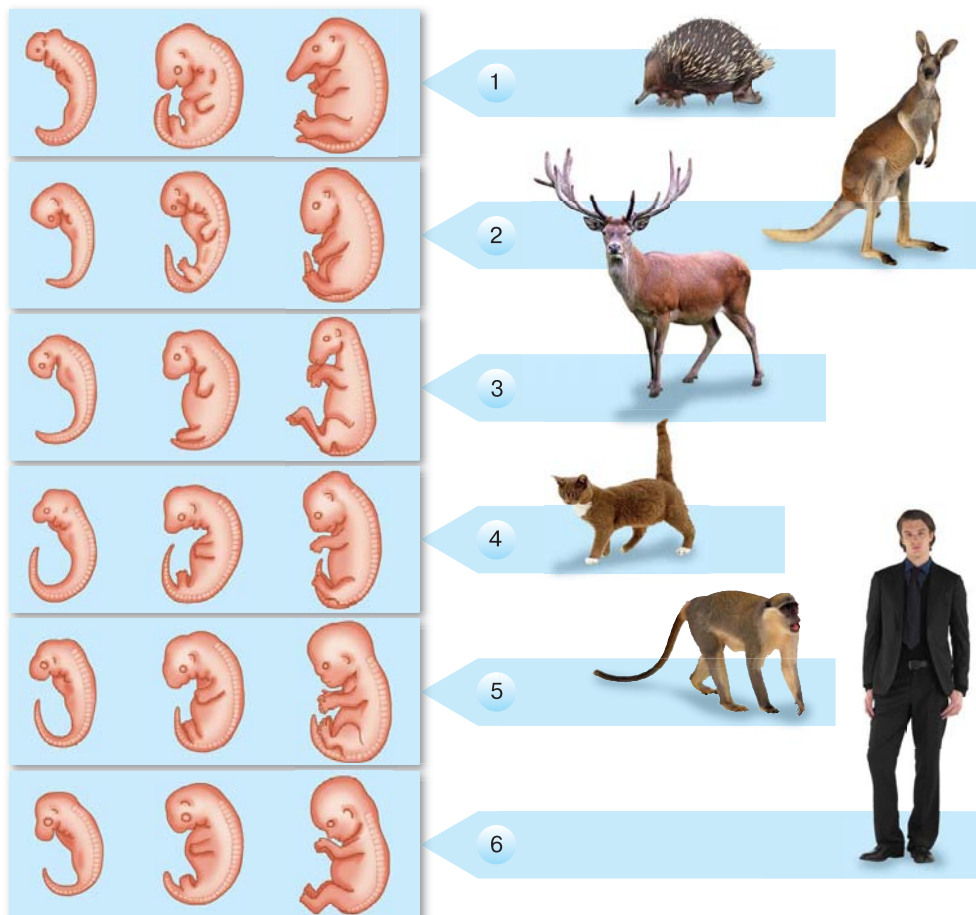


Рис. 1.5. Эмбриональное сходство у представителей различных групп млекопитающих: 1 — ехидна; 2 — кенгуру; 3 — олень; 4 — кошка; 5 — обезьяна; 6 — человек

1.2.2. Экспедиционный материал Ч. Дарвина

Проследим основные этапы жизненного пути, формирование мировоззрения Дарвина и его систему доказательств эволюционного процесса.

Чарлз Роберт Дарвин родился 12 февраля 1809 г. в семье врача. В университете он обучался сначала на медицинском, потом на богословском факультете и собирался стать священником. В то же время он проявлял большую склонность к естественным наукам, увлекался геологией, ботаникой и зоологией. После окончания университета Дарвину (в 1831 г.) предлагают место натуралиста на корабле «Бигль», отправляющемся в кругосветное путешествие для картографических съёмок. Дарвин принимает пригла-

шение, и пять лет, проведённые им в экспедиции (1831—1836), стали поворотным пунктом в его собственной научной судьбе и в истории биологии (рис. 1.6).

Во время путешествия наблюдения, сделанные очень точно и профессионально, заставили Дарвина задуматься над причинами сходства и различий между видами. Главная его находка, обнаруженная в геологических отложениях Южной Америки, — это скелеты вымерших гигантских неполнозубых, очень сходных с современными броненосцами и ленивцами (рис. 1.7).

Ещё большее впечатление произвело на Дарвина изучение видового состава животных на Галапагосских островах. На этих вулканических островах недавнего происхождения Дарвин обнаружил близкие виды вьюрков, сходные с материковым видом, но приспособившиеся к разным источникам питания: твёрдым семенам, насекомым, нектару цветков растений

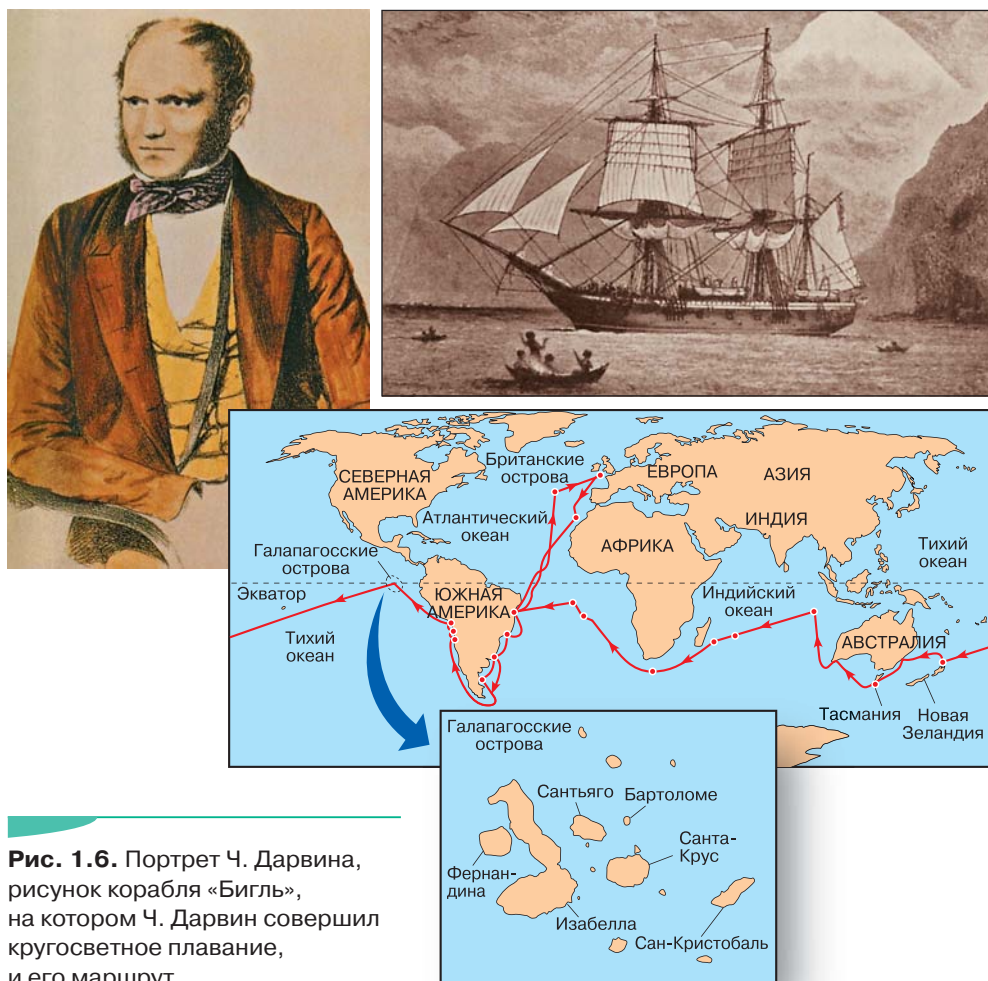


Рис. 1.6. Портрет Ч. Дарвина, рисунок корабля «Бигль», на котором Ч. Дарвин совершил кругосветное плавание, и его маршрут



Рис. 1.7. Ископаемый (реконструкция по скелету) и современный ленивцы

(рис. 1.8). Нелепо было бы предполагать, что для каждого вновь возникающего вулканического острова Творец создаёт свои особые виды животных. Разумней сделать другой вывод: птицы попали на остров с материка и изменились вследствие приспособления к новым условиям обитания. Таким образом, Дарвин ставит вопрос о роли условий среды в видообразовании. Аналогичную картину Дарвин наблюдал и у берегов Африки. Животные, обитающие на островах Зелёного Мыса, несмотря на некоторое сходство с материковыми видами, всё же отличаются от них существенными чертами. С позиции сотворения видов Дарвин не мог объяснить и особенности развития описанного им грызуна туко-туко, живущего в норах под землёй и рождающего зрячих детёнышей, которые затем слепнут.

Перечисленные и многие другие факты поколебали веру Дарвина в сотворение видов. Вернувшись в Англию, он поставил перед собой задачу: разрешить вопрос о происхождении видов.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Бурное развитие естественных наук в XIX в. предоставляло всё большее количество фактов, противоречивших представлениям о неизменности природы.
- Изучение природы Южной Америки и Галапагосских островов позволило Дарвину сделать первые предположения о причинах и механизмах изменения видов.

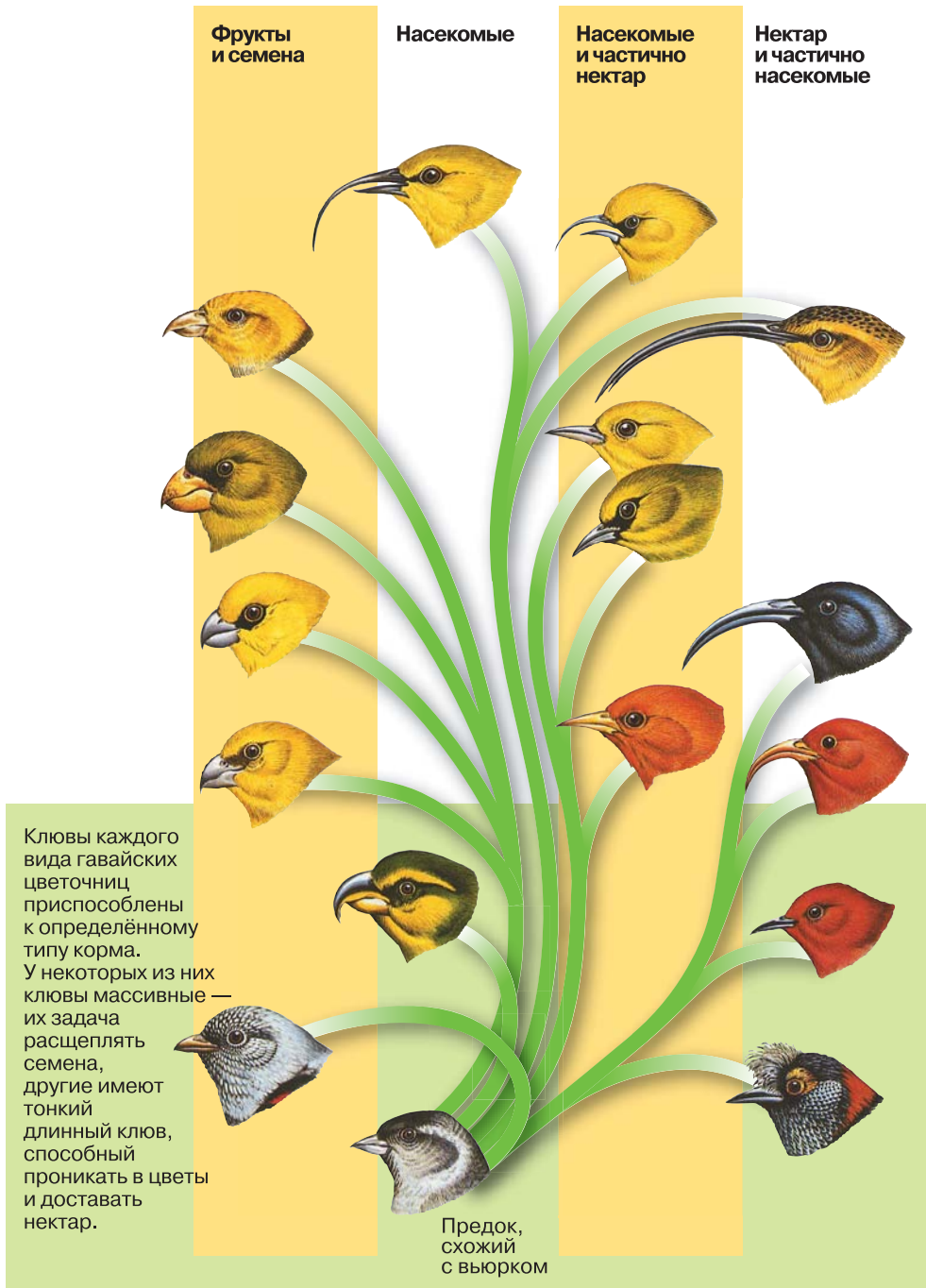


Рис. 1.8. Разнообразие дарвиновских вьюрков на Галапагосских островах и их специализация по источникам пищи

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Какие данные геологии послужили предпосылкой эволюционной теории Дарвина?
- 2 Охарактеризуйте естественно-научные предпосылки формирования эволюционных взглядов Ч. Дарвина.
- 3 Какие наблюдения Ч. Дарвина поколебали его веру в неизменность видов?



1.3. Эволюционная теория Ч. Дарвина

Основной труд Ч. Дарвина — «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение избранных пород в борьбе за жизнь», в корне изменивший представления о живой природе, появился в 1859 г. Этому событию предшествовала более чем двадцатилетняя работа по изучению и осмысливанию богатого фактического материала, собранного как самим Дарвином, так и другими учёными.

1.3.1. Учение Ч. Дарвина об искусственном отборе

Дарвин вернулся в Англию из кругосветного путешествия убеждённым сторонником изменяемости видов под влиянием условий обитания. Данные геологии, палеонтологии, эмбриологии и других наук также указывали на изменяемость органического мира. Однако большинство учёных не признавали эволюцию, ведь никто не наблюдал превращения одних видов в другие. Поэтому Дарвин сосредоточил свои усилия на раскрытии механизма эволюционного процесса. С этой целью он обратился к практике сельского хозяйства Англии. Английские фермеры вывели к этому времени более 150 пород голубей (рис. 1.9), множество пород собак (рис. 1.10), лошадей, крупного рогатого скота, кур и т. д. Интенсивно велась работа по селекции новых пород животных и сортов культурных растений. Сторонники постоянства видов утверждали, что каждый сорт, каждая порода имеют особого дикого предка. Дарвин доказал, что это не так. Все породы кур происходят от дикой банкивской курицы, домашние утки — от дикой утки кряквы, породы кроликов — от дикого европейского кролика. Предками крупного рогатого скота были два вида диких туров, а предками собаки — волк и для некоторых пород, возможно, шакал. При этом породы животных и сорта растений могут очень резко различаться. Рассмотрите рисунок 1.9, на нём показаны некоторые породы домашнего голубя. У них неодинаковые пропорции тела, размеры, оперение и т. д., хотя все они происходят от одного предка — дикого скалистого голубя. Чрезвычайно разнообразны головные придатки у петухов (рис. 1.11), причём они типичны для каждой породы.

Аналогичная картина наблюдается среди сортов культурных растений. Очень отличаются между собой, например, сорта капусты. Из одного дикого вида человеком получены кочанная капуста, цветная капуста, кольраби, кормовая капуста, стебель которой превышает рост человека, и др. (см. рис. 11.2 в учебнике 10 класса).

Сорта растений и породы животных служат для удовлетворения потребностей человека — материальных или эстетических. Одно это убедительно доказывает, что они созданы человеком. Каким же образом человек получил многочисленные сорта растений и породы животных? Ответ на этот во-



Рис. 1.9. Породы голубей (2 — павлиный; 3 — совиный; 4 — почтовый; 5 — дутыш; 6 — якоринец) и их дикий предок (1)

прос Дарвин нашёл, изучая методы английских фермеров. В их основе лежал один принцип: разводя животных или растения, люди искали среди особей экземпляры, несущие нужный признак в наиболее ярком выражении, и оставляли для размножения только такие организмы. Если, например, поставлена задача повысить урожайность пшеницы, селекционер из огромной массы растений выбирает несколько лучших экземпляров с наи-

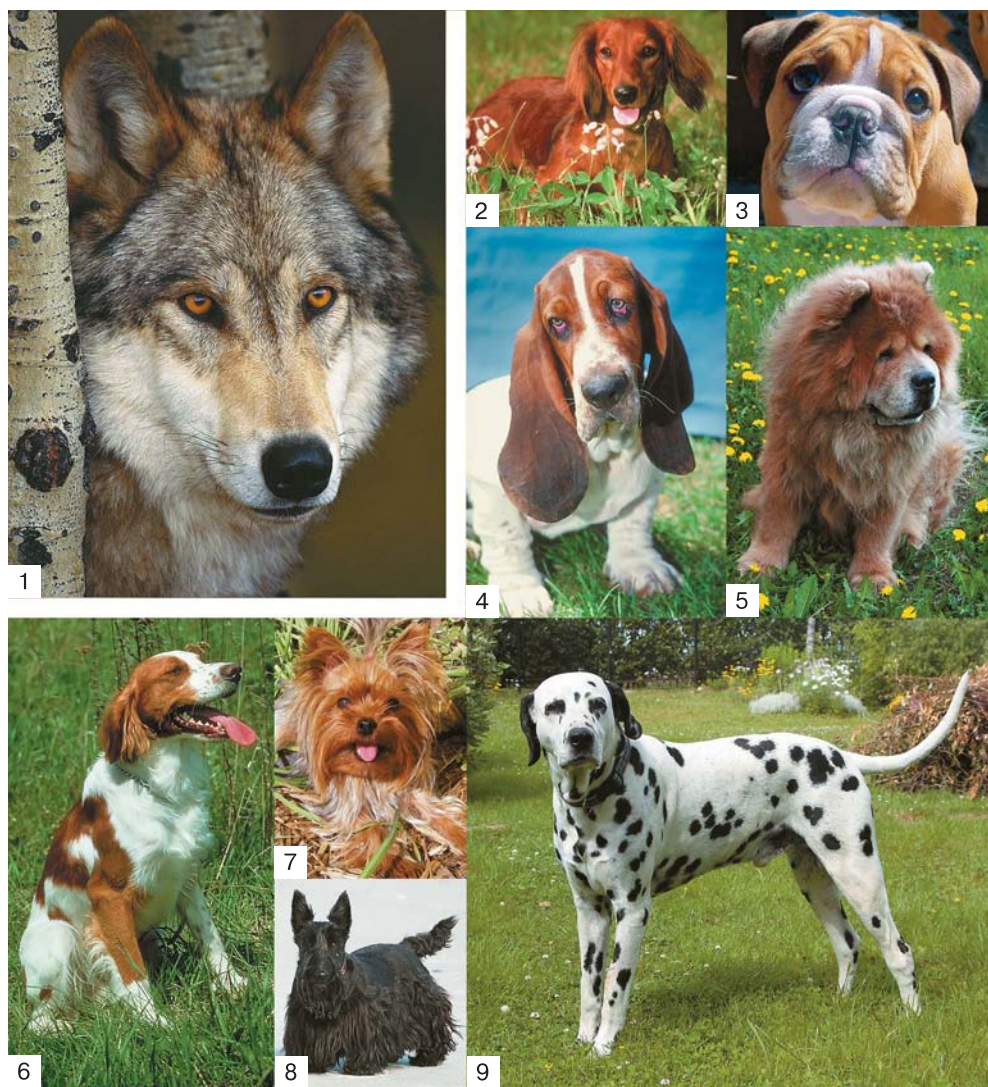


Рис. 1.10. Волк (1) и произошедшие от него породы собак:
2 — такса; 3 — английский бульдог; 4 — бассет; 5 — чау-чау; 6 — сеттер;
7 — йоркширский терьер; 8 — скотчтерьер; 9 — далматин



Рис. 1.11. Разнообразие головных придатков у петухов различных пород

большим числом колосков. В следующем году высеиваются зёрна только этих растений и среди них снова отыскиваются организмы, имеющие наибольшее количество колосков. Так продолжается несколько лет, и в результате появляется новый сорт многоколосковой пшеницы.

В основе всей работы по выведению нового сорта растений или породы животных лежит изменчивость признаков у организмов и отбор человеком носителей таких изменений, которые наиболее уклоняются в желательную для него сторону. В ряду поколений такие изменения накапливаются и становятся устойчивым признаком породы или сорта. Для отбора имеет значение только индивидуальная, неопределённая (с современных позиций — мутационная) изменчивость.

Поскольку мутации — явление достаточно редкое, искусственный отбор может быть успешным только в том случае, если он проводится среди большого числа особей. Известны также случаи, когда к возникновению новой породы приводит единичная крупная мутация. Так появились анконская порода коротконогих овец, такса, утка с крючковатым клювом, некоторые сорта растений. Особи с резко изменёнными признаками были сохранены и использованы для создания новой породы.

Следовательно, под *искусственным отбором* понимается процесс создания новых пород животных и сортов культурных растений путём систематического сохранения и размножения в ряду поколений особей с определёнными, ценными для человека признаками и свойствами.

Дарвин выделил две формы искусственного отбора: методический, или сознательный, и бессознательный.

Методический отбор. Методический, или сознательный, отбор заключается в том, что селекционер ставит перед собой определённую задачу и ведёт отбор по одному-двум признакам. Такой приём позволяет достигнуть

больших успехов. Дарвин приводит пример быстрого выведения новых пород. Когда была поставлена задача превратить свисающий гребень испанского петуха в стоячий, то уже через пять лет была получена намеченная форма. Куры, имеющие «бороды», были выведены через шесть лет. Возможности искусственного отбора в изменении и преобразовании строения и свойств чрезвычайно велики. Например, полудикая корова даёт удой 700—800 л молока в год, а отдельные особи современных молочных пород — до 10 тыс. л и более. У мериноса число волос на единицу площади почти в 10 раз больше, чем у беспородных овец. Очень велики различия в строении тела у различных пород собак: борзой, бульдога, сенбернара, пуделя или шпица.

Одним из условий успеха методического искусственного отбора является большое исходное число особей. Такой отбор невозможен при мелкотоварном (крестьянском) сельскохозяйственном производстве. Новую породу нельзя вывести, если в хозяйстве имеется всего 1—2 лошади, несколько овец, кур, гусей или уток.

Таким образом, изучение методов селекции, применявшихся в крупнотоварном капиталистическом сельском хозяйстве Англии XIX в., позволило Дарвину сформулировать принцип искусственного отбора и с помощью этого принципа объяснить не только причину совершенствования форм, но и их многообразие.

Однако домашние животные, так значительно отличающиеся от диких предков, появились ещё у доисторического человека, задолго до сознательного применения методов селекции. Как это произошло? По Дарвину, в процессе приручения диких животных человек осуществлял примитивную форму искусственного отбора, которую он назвал бессознательным.

Бессознательный отбор. Бессознательным, или стихийным, такой отбор называли потому, что человек не ставил цель вывести какую-то определённую породу или сорт. Например, убивали и съедали в первую очередь худших животных, а сохраняли наиболее ценных (более удойная корова, хорошо несущаяся курица и т. д.). Дарвин приводит в пример жителей Огненной Земли, которые в период голода поедают собак, хуже ловящих выдр, а лучших животных стараются сохранить во что бы то ни стало. Да и в повседневной практике людям, занимающимся молочным животноводством, совершенно естественно оставить корову, дающую больше молока, в живых, а ту, что даёт мало молока, пустить на мясо. Это естественным образом приводит к оставлению большего потомства высокоудойными коровами. Сельскохозяйственным работникам при этом совершенно необязательно осознавать, что они занимаются селекцией.

Не только фермеры и другие сельхозпроизводители, но и обычные, не связанные с животноводством и растениеводством горожане подчас проводят активный, хотя и бессознательный отбор. Например, некоторые владельцы беспородных собак и кошек иногда избавляются от большинства потомства своих любимцев, оставляя в живых одного котёнка или щенка.

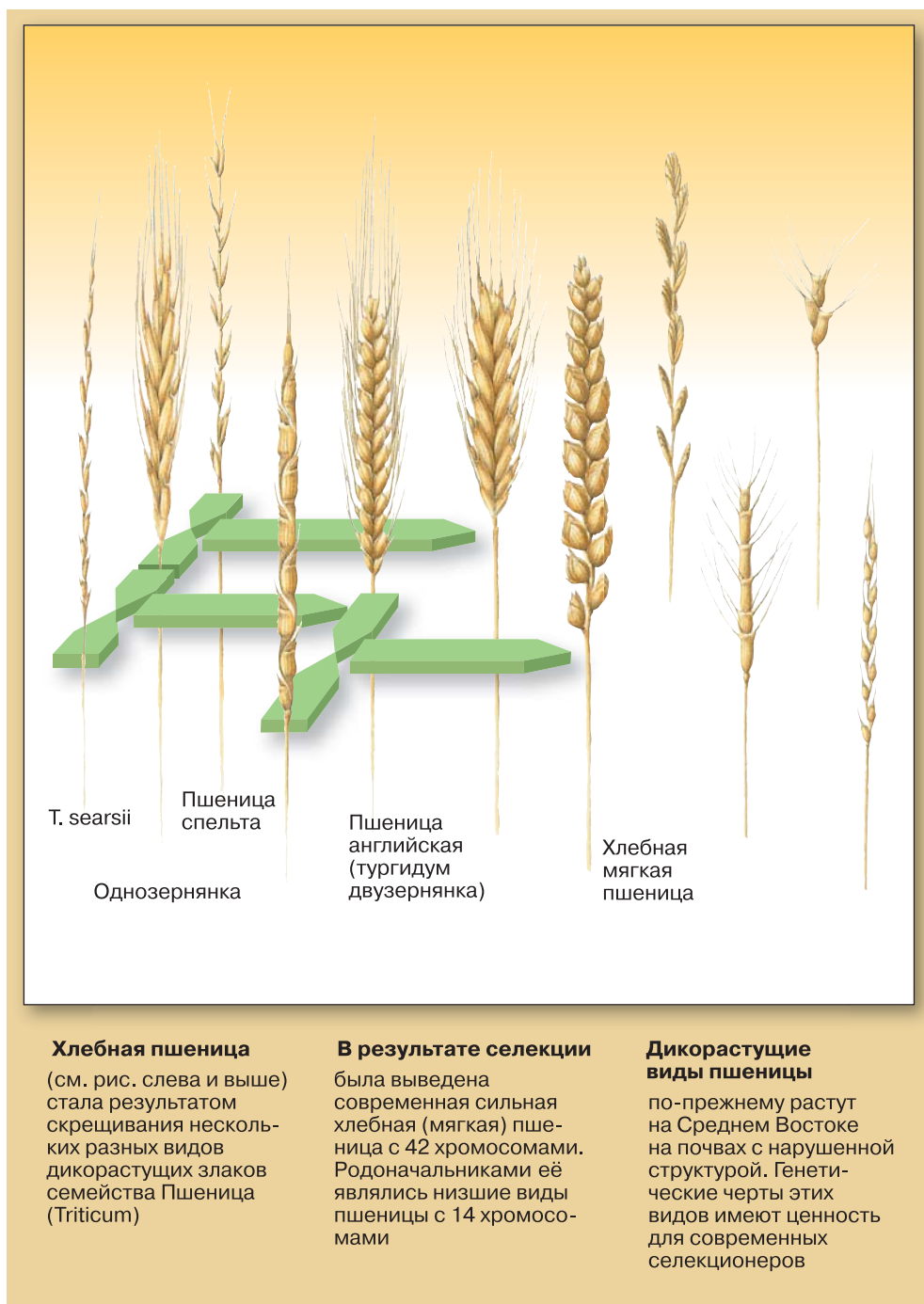


Рис. 1.12. Сорты пшеницы и их дикий предок (слева)

Важнейшее отличие культурных злаков от дикорастущих предков заключается в том, что у первых семена достаточно прочно держатся в колосе, а у диких легко выколашиваются. Древние собиратели и первые земледельцы попросту не доносили до дома семена, осыпавшиеся в пути. В их распоряжении оставались и окультуривались семена, лучше удерживающиеся в колосе, они же использовались и для очередного посева. Таким образом происходил бессознательный отбор злаков (рис. 1.12).

Совершенно о том не ведая, виноделы, пивовары и пекари за несколько тысячелетий отобрали ряд высокоспецифичных разновидностей дрожжей, используемых и поныне.

Подобные примеры можно приводить практически бесконечно.

Бессознательный отбор до сих пор существует в крестьянском хозяйстве, но его влияние на увеличение разнообразия домашних животных и культурных растений проявляется гораздо медленнее, чем при методическом отборе.

Ч. Дарвин не имел возможности привести примеры одомашнивания диких животных путём искусственного отбора, осуществляемого экспериментально, а в наши дни такие примеры имеются. Российский академик Д. К. Беляев, работая с разводимыми в неволе серебристо-чёрными лисами, относящимися к семейству Собачьи, обнаружил интересное явление. Животные очень различались между собой по своему поведению и по реакции на человека. Беляев выделил среди них три группы: агрессивных, стремящихся напасть на человека, трусливо-агрессивных, боящихся человека и в то же время желающих на него напасть, и относительно спокойных, с выраженным исследовательским инстинктом. Среди этой последней группы учёный проводил отбор по поведенческим реакциям: оставлял для размножения более спокойных животных, у которых интерес к окружающему преобладал над реакцией страха и защиты. В результате отбора в ряде поколений удалось получить особей, которые вели себя, как домашние собаки: легко вступали в контакт с человеком, радовались ласке и т. д. Самое поразительное, что при отборе по поведенческим признакам у животных изменились морфологические и физиологические признаки: опустились уши, хвост загнулся крючком, как у сибирских лаек, на лбу появилась звёздочка, столь характерная для домашних (нечистопородных) собак. Если дикие лисы размножаются раз в год, то одомашненные — два раза. Изменились и некоторые другие характеристики.

В описанном примере обнаруживается взаимосвязь между изменениями строения и поведения животных. Такую взаимосвязь заметил ещё Дарвин и назвал её *коррелятивной*, или *соотносительной*, *изменчивостью*. Например, развитие рогов у овец и коз сочетается с длиной шерсти. У комолых животных шерсть короткая. Собаки бесшёрстных пород обычно имеют отклонения в строении зубов. Развитие хохлы на голове кур и гусей сочетается с изменением черепа. У кошек пигментация шерсти связана с функционированием органов чувств: белые голубоглазые кошки всегда глухие. Коррелятивная изменчивость основана на плейотропном действии генов.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Ч. Дарвин выделил две основные формы искусственного отбора: методический и бессознательный.
- Достижения сельского хозяйства Англии в XIX в. в области выведения многочисленных пород домашних животных и сортов культурных растений послужили для Ч. Дарвина моделью процессов, происходящих в природе.
- Крупнотоварное сельскохозяйственное производство Англии рассматривают как социально-экономическую предпосылку теории Ч. Дарвина.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Как Ч. Дарвин разрешил вопрос о предках домашних животных?
- 2 Приведите примеры многообразия пород домашних животных и сортов культурных растений. Чем объясняется это многообразие?
- 3 В чём состоит основной метод выведения новых сортов и пород?
- 4 Как меняется строение и поведение животных в процессе одомашнивания? Приведите примеры.

1.3.2. Учение Ч. Дарвина о естественном отборе

Искусственный отбор, т. е. сохранение особей с полезными для человека признаками и устранение всех остальных, проводит человек, ставящий перед собой определённые задачи. Признаки, накапливаемые при искусственном отборе, полезны для человека, но необязательно выгодны для животных. Дарвин высказал предположение, что в природе сходным путём накапливаются признаки, полезные только для организмов и вида в целом, в результате чего образуются разновидности и виды. В этом случае требовалось установить наличие неопределённой индивидуальной изменчивости у диких животных и растений. Кроме того, необходимо было доказать существование в природе какого-то направляющего фактора, действующего аналогично воле человека в процессе искусственного отбора.

1.3.2.1. Всеобщая индивидуальная изменчивость.

Избыточная численность потомства и ограниченность ресурсов

Дарвин показал, что у представителей диких видов животных и растений индивидуальная изменчивость многих признаков и свойств представлена очень широко. Индивидуальные отклонения могут быть полезными, нейтральными или вредными для организма. Все ли особи оставляют по-

томство? Если нет, то какие факторы сохраняют особей с полезными признаками и устраняют всех остальных?

Дарвин обратился к анализу размножения организмов. Все организмы оставляют значительное, иногда очень многочисленное потомство. Одна особь сельди вымётывает в среднем около 40 тыс. икринок, осётр — 2 млн, лягушки — до 10 тыс. икринок. На одном растении мака ежегодно созревает до 30—40 тыс. семян. Даже медленно размножающиеся животные потенциально способны оставить огромное число потомков. Самки слонов приносят детёнышей в возрасте между 30 и 90 годами. За 60 лет они рожают в среднем 6 слонят. Расчёты показывают, что даже при такой низкой интенсивности размножения через 750 лет потомство одной пары слонов составило бы 19 млн особей. На основе этих и многих других примеров Дарвин приходит к выводу о том, что в природе любой вид животных и растений стремится к размножению в геометрической прогрессии. В то же время число взрослых особей каждого вида в ряду поколений остаётся относительно постоянным.

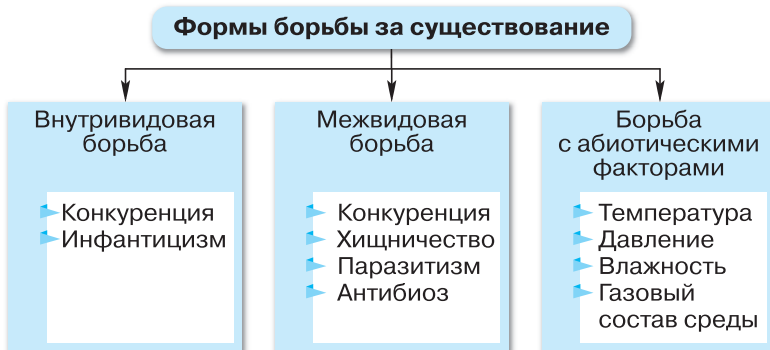
Каждая пара организмов даёт гораздо больше потомков, чем их доживает до взрослого состояния. Большая часть появившихся на свет организмов, следовательно, гибнет, не достигнув половой зрелости. Причины гибели разнообразны. Главным образом это ограниченность ресурсов.

Дело в том, что все ресурсы, которые могут быть использованы организмами, всегда ограничены. Так, площадь или объём, заселённые растениями, животными и микроорганизмами, имеют конечные, хотя иногда и достаточно большие размеры. На этой площади или в этом объёме растительными организмами за счёт энергии солнечного света может быть произведено лишь определённое количество биомассы, т. е. созданного ими органического вещества. Её могут использовать растительноядные животные, а их организмы — в качестве пищи — хищники. В результате организмы испытывают недостаток корма из-за конкуренции с представителями своего же вида, подвергаются нападению врагов и действию неблагоприятных физических факторов среды: засухи, сильных морозов, высокой температуры и пр. Отсюда следует второй вывод, сделанный Дарвином: в природе происходит непрерывная борьба за существование. Этот термин должен пониматься в широком смысле, как любая зависимость организмов от всего комплекса условий окружающей его природы. Иначе говоря, борьба за существование — это совокупность многообразных и сложных взаимоотношений, существующих между организмами и условиями среды. Когда лев отнимает добычу у гиены, подразумевается борьба за пищу. Про растение на окраине пустыни можно сказать, что оно ведёт борьбу против засухи.

1.3.2.2. Формы борьбы за существование и естественный отбор

Дарвин выделил три основные формы борьбы за существование: внутривидовую, межвидовую и борьбу с неблагоприятными условиями среды.

Внутривидовая борьба. У особей одного вида потребности в пище, территории и других условиях существования одинаковы. Поэтому конкуренция между ними наиболее острая. Дарвин считал внутривидовую борьбу самой напряжённой. Например, птицы одного вида конкурируют из-за мест гнездования. Самцы многих видов млекопитающих и птиц в период размножения вступают друг с другом в борьбу за право обзавестись семьёй.



Межвидовая борьба. Примеры межвидовой борьбы в природе многочисленны. И волки, и лисы охотятся на зайцев. Между волками и зайцами, а также между лисами и зайцами идёт напряжённая борьба за существование. Отсутствие добычи обрекает хищников на голод и гибель. В то же время между хищниками — волками и лисами — тоже существует конкуренция за пищу. Это не значит, что они непосредственно вступают в борьбу друг с другом, но успех одного означает неудачу другого. Травоядные животные смогут выжить и оставить потомство только в том случае, если они сумеют избежать хищников и будут обеспечены пищей. Но растительностью питаются разные виды млекопитающих, а кроме того, насекомые и моллюски, поэтому, что досталось одному, не достанется другому. Существование трав, в свою очередь, зависит не только от поедания их животными, но и от других условий: опыления цветков насекомыми, конкуренции с другими растениями за свет, влагу и т. д. Беспрепятственное размножение микроорганизмов сдерживают, помимо прочих факторов, антибиотики, выделяемые грибами, и фитонциды, образуемые зелёными растениями.

К межвидовой борьбе относятся и взаимоотношения в форме паразитизма. Паразиты ослабляют организм хозяина, делают его менее конкурентоспособным (см. также главу 6, с. 210).

Борьба с неблагоприятными условиями внешней среды. Факторы неживой природы оказывают огромное влияние на выживаемость организмов. Много растений гибнет во время холодных малоснежных зим. В сильные морозы смертность увеличивается и среди животных, обитающих в почве (кроты, дождевые черви). Зимой при недостатке растворённого в воде кислорода погибает рыба. Семена растений нередко заносятся ветром в неблагоприятные места обитания, и они не прорастают.

Все формы борьбы за существование сопровождаются истреблением в каждом поколении огромного количества организмов или приводят к тому, что часть их не оставляет потомства.

Кто же выживает в этой постоянно происходящей борьбе за существование? Наблюдения показывают, что для растительных и животных организмов характерна всеобщая изменчивость признаков, свойств и бесконечное разнообразие их комбинаций. Даже в потомстве одной пары родителей нет совершенно одинаковых особей (за исключением монозиготных близнецов). В борьбе за существование выживают и оставляют потомство индивидуумы, обладающие таким комплексом признаков и свойств, который позволяет наиболее успешно конкурировать с другими. Таким образом, в природе в результате борьбы за существование происходят процессы избирательного уничтожения одних особей и преимущественного размножения других — явление, названное Дарвином естественным отбором, или выживанием наиболее приспособленных. При изменении условий внешней среды полезными для выживания могут оказаться какие-то иные, чем прежде, признаки. В результате меняется направление давления отбора, перестраивается генетическая структура вида, благодаря размножению широко распространяются новые признаки — появляется новый вид.

Следовательно, виды изменяются в процессе приспособления к условиям внешней среды. Движущей силой изменения видов, т. е. эволюции, является естественный отбор. Материалом для отбора служит наследственная (неопределённая, индивидуальная, мутационная) изменчивость. Изменчивость, обусловленная прямым влиянием внешней среды на организмы (групповая, модификационная), не имеет значения для эволюции, поскольку по наследству не передаётся.

1.3.2.3. Образование новых видов

Возникновение новых видов Дарвин представлял себе как длительный процесс накопления полезных индивидуальных изменений, увеличивающихся из поколения в поколение. Почему это происходит? Жизненные ресурсы (пища, места для размножения и пр.), как отмечалось ранее, всегда ограничены. Поэтому самая ожесточённая борьба за существование происходит между наиболее сходными особями. Напротив, между различающимися в пределах одного вида особями одинаковых потребностей меньше, а конкуренция слабее. Поэтому несхожие особи имеют преимущество в оставлении потомства. С каждым поколением различия становятся всё более выраженными, а промежуточные формы, сходные между собой, вымирают. Так, из одного вида образуется два или несколько. Явление расхождения признаков, ведущее к видообразованию, Дарвин назвал *дивергенцией* (от лат. *divergo* — отклоняюсь, отхожу).

Понятие дивергенции Дарвин иллюстрирует примерами, широко представленными в природе. Конкуренция между четвероногими хищниками привела к тому, что часть их перешла на питание падалью, например, гиены

и, в известной мере, шакалы, другие переселились в новые места обитания, стали жить в воде (киты) или на деревьях как леопарды, много времени проводящие в засаде, а также предпочитающие втаскивать пойманную и умерщвленную добычу, защищая её от конкурентов (рис. 1.13).

Причиной дивергенции могут стать и неодинаковые условия внешней среды в разных районах территории, занимаемой видом. Например, две группы особей какого-либо вида вследствие этого будут накапливать различные изменения. Возникает процесс расхождения признаков. Через определённое число поколений такие группы становятся разновидностями, а затем и видами.

Действие естественного отбора можно наблюдать в эксперименте. В нашей стране широко распространён богомол обыкновенный — крупное хищное насекомое (длина тела у самок может достигать 7,5 см), питающееся разнообразными мелкими насекомыми: тлёй, клопами, мухами. Окраска разных особей этого вида бывает зелёной, жёлтой и бурой. Богомолы зелёного цвета встречаются среди трав и кустарников, бурые — на растениях, выгорающих от солнца. Неслучайность такого распределения животных учёные доказали в эксперименте на расчищенной от травы площадке блёкло-бурого цвета. К колышкам на площадке были привязаны богомолы всех трёх цветов. За время опыта птицами были уничтожены 60% жёлтых, 55% зелёных и только 20% бурых богомолы, у которых окраска тела совпадала с цветом фона.

Аналогичные опыты были поставлены с куколками бабочки-крапивницы. В случае несоответствия окраски куколки окраске фона птицами уничтожалось гораздо больше куколок, чем в случае совпадения фона с окраской. Водоплавающие птицы в бассейне ловят преимущественно рыбу, окраска которой не соответствует цвету дна.

Важно отметить, что для выживания имеет значение не один какой-либо признак, а комплекс признаков — фенотип организма. Так, в том же опыте с богомолами, очень простом по сравнению с реальными природными условиями, среди бурых особей, защищённых окраской тела, птицы склёвывали беспокойных, активнодвигающихся насекомых. Спокойные малоподвижные богомолы избегали нападения. Следовательно, один и тот же признак в зависимости от окружающих условий может способствовать выживанию или, напротив, привлекать внимание врагов. На рисунке 1.14 изображены две формы бабочки берёзовой пяденицы. Светлая форма мало заметна на берёзе, в то время как мутантная тёмноокрашенная форма



Рис. 1.13. Леопард с добычей на дереве

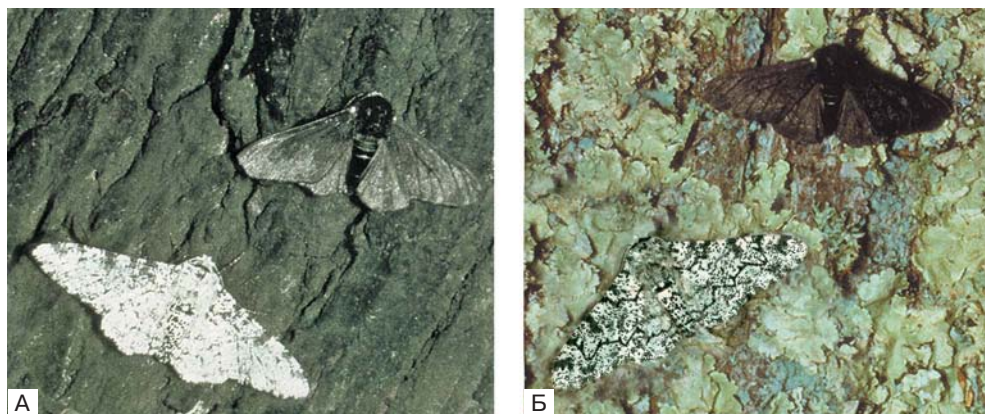


Рис. 1.14. Берёзовая пяденица: светлая и тёмная расы на тёмном (А) и светлом (Б) фоне

хорошо видна на ней (Б). Тёмные бабочки преимущественно склёвываются птицами. Ситуация меняется вблизи промышленных предприятий: копоть, покрывающая стволы деревьев, создаёт защитный фон для мутантов, в то время как светлая бабочка на ней хорошо заметна (А).

Мутации и половой процесс создают генетическую неоднородность внутри вида. Их действие, как видно из приведённых примеров, ненаправленно. Эволюция же — процесс направленный, связанный с выработкой приспособлений по мере прогрессивного усложнения строения и функций животных и растений. Существует лишь один направленный эволюционный фактор — естественный отбор.

Под действие отбора могут попасть либо отдельные особи, либо целые группы. В любом случае отбор сохраняет наиболее приспособленные к данной среде организмы. Нередко отбором поддерживаются признаки и свойства, невыгодные для отдельной особи, но полезные для группы особей или вида в целом. Примером такого приспособления служит зазубренное жало пчелы. Ужалившая пчела оставляет жало в теле врага и погибает, но гибель особи, к тому же не участвующей в размножении, способствует сохранению пчелиной семьи.

Факторами отбора служат условия внешней среды, точнее, весь комплекс абиотических и биотических условий среды. В зависимости от этих условий отбор действует в разных направлениях и приводит к неодинаковым эволюционным результатам. В настоящее время различают несколько форм естественного отбора. Основные из них будут рассмотрены в разделе 1.4.4.

Таким образом, к меняющимся условиям внешней среды приспособляется не отдельная особь, как полагал Ламарк, а вид организмов в целом путём естественного отбора. Мы можем сказать, что естественный отбор служит биологическим механизмом приспособления видов.

Дарвин показал, что принцип естественного отбора объясняет возникновение всех без исключения основных характеристик органического мира — от признаков, свойственных крупным систематическим группам живых организмов, до мелких приспособлений. Теорией Дарвина завершились длительные поиски естествоиспытателей, которые пытались найти объяснение многим чертам сходства, наблюдаемым у организмов, относящихся к разным видам. Учёный объяснил это сходство родством и показал, как идёт образование новых видов, как происходит эволюция.

С общетеоретической точки зрения главное в учении Дарвина — это идея развития живой природы, противостоящая представлению о застывшем неизменяющемся мире. Признание учения Дарвина стало переломным моментом в истории биологических наук. Факты, накопленные в додарвиновский период развития биологии, получили новое освещение. Возникли новые направления в биологии: эволюционная эмбриология, эволюционная палеонтология и др.

Учение Дарвина служит естественно-научной основой для доказательства ложности религиозных взглядов. Материалистическое объяснение целесообразности строения живых организмов, происхождения и многообразия видов в самой основе подрывает устои религии.

Труд Ч. Дарвина явился одним из крупнейших достижений естествознания XIX в.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Для особей любого вида характерна всеобщая индивидуальная (наследственная) изменчивость.
- Численность потомства в пределах каждого вида организмов очень велика, а пищевые ресурсы всегда ограничены. Отсюда вытекает неизбежность борьбы за существование.
- Дарвин выделял три формы борьбы за существование: внутривидовую, межвидовую и борьбу с абиотическими факторами среды.
- В результате борьбы за существование на всех этапах онтогенеза происходит избирательное выживание наиболее приспособленных организмов и гибель менее приспособленных особей — идёт естественный отбор.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что такое естественный отбор?
- 2 Что такое борьба за существование? Каковы её формы?
- 3 Какая форма борьбы за существование является наиболее напряжённой и почему?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Вспомните материал предыдущих глав. Какие процессы, происходящие в природе, снижают интенсивность внутривидовой борьбы за существование? Каков биологический смысл этого явления?
- 2 В чём, по вашему мнению, заключаются биологические причины сохранения жизни особей, устранённых от размножения?

1.4. Современные представления о механизмах и закономерностях эволюции. Микроэволюция

1.4.1. Вид

В основе эволюционной теории Ч. Дарвина лежит представление о виде как единице эволюции. Что же такое вид и насколько реально его существование в природе?

1.4.1.1. Критерии и генетическая целостность вида

Видом называют совокупность особей, сходных по строению, имеющих общее происхождение, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство. Все особи одного вида имеют одинаковый кариотип (см. 10 класс, гл. 5), сходное поведение и занимают определённый ареал (распространение).

Одна из важных характеристик вида — его *репродуктивная изоляция*. Под ней понимают совокупность механизмов, препятствующих притоку генов извне. Защищённость генофонда данного вида от поступления генов других, в том числе близкородственных, видов достигается разными путями.

Сроки размножения у близких видов могут не совпадать. Если сроки одни и те же, то не совпадают предпочитаемые **места размножения**. Например, самки одного вида лягушек мечут икру по берегам рек, другого вида — в лужах. При этом случайное осеменение икры самцами другого вида практически исключается. У многих видов животных наблюдается строгий **ритуал поведения при спаривании**. Если у одного из потенциальных партнёров для скрещивания ритуал поведения отклоняется от видового стандарта, спаривания не происходит. Если всё же спаривание произойдёт, сперматозоиды самца другого вида, как правило, не смогут проникнуть в яйцеклетку вследствие того, что ферменты его акросомы (см. 10 класс, гл. 5) не смогут расщепить компоненты оболочек яйца. В результате оплодотворения не происходит. Фактором изоляции также могут служить пред-

почитаемые **источники пищи**: особи кормятся в разных биотопах и вероятность скрещивания между ними уменьшается.

Иногда (при межвидовом скрещивании) оплодотворение всё же происходит. В этом случае образовавшиеся гибриды либо отличаются **пониженной жизнеспособностью**, либо оказываются **бесплодными** и не дают потомства. Примером является мул — гибрид лошади и осла. Будучи вполне жизнеспособным, он бесплоден из-за нарушения мейоза: негомологичные хромосомы не конъюгируют. В ряде случаев у близкородственных видов со схожими кариотипами, например у мелких кошек, гибриды вполне жизнеспособны и плодовиты. В крайнем случае препятствием для дальнейшего смешения генофондов являются сами «бастарды» — межвидовые гибриды, занимающие ареал на границе контакта родительских видов.

Перечисленные механизмы, предотвращающие обмен генами между видами, имеют неодинаковую эффективность, но в комплексе в природных условиях они создают непроницаемую генетическую изоляцию между видами в краткосрочной с точки зрения эволюции перспективе. Следовательно, вид — это *реально существующая, генетически закрытая, неделимая единица органического мира*.

1.4.1.2. Популяционная структура вида

Географическая изоляция. Каждый вид занимает более или менее обширный ареал обитания (от лат. *area* — область, пространство) (рис. 1.15). Иногда он сравнительно невелик: для видов, живущих в озере Байкал, он ограничивается этим озером. В других случаях ареал вида охватывает огромные территории. Так, чёрная ворона почти повсеместно распространена в Западной Европе. Восточная Европа и Западная Сибирь населены другим видом — серой вороной. Существование определённых границ распространения вида не означает, что все особи свободно перемещаются внутри ареала.

Распространение соболя в Евразии



Рис. 1.15. Ареал соболя

На территории, занимаемой видом, в особенности если она обширна, неизбежно встречаются различные географические образования: горы, низменности, равнины, реки и т. д. Каждая из них оказывает существенное влияние на расселение особей. Горы и возвышенности являются барьером на пути распространения равнинных обитателей. Наоборот, группы организмов горных цепей, приспособленные к жизни на значительной высоте над уровнем моря, изолированы друг от друга низменностями. Обитатели вод разделены сушей, а сухопутные животные — обширными водными пространствами, имеющимися внутри ареала.

Экологическая изоляция. Даже в пределах одного ландшафта условия обитания неоднородны. Например, на равнинах можно наблюдать леса и степи, болота и сравнительно сухие местообитания, полупустыни и заросли кустарников. Все подобные переходы препятствуют свободному неограниченному перемещению особей одного и того же вида внутри ареала.

Ограниченность радиуса индивидуальной активности. Степень подвижности особей выражается расстоянием, на которое может перемещаться животное, т. е. *радиусом индивидуальной активности*. У растений этот радиус определяется расстоянием, на которое распространяются пыльца, семена или вегетативные части, способные дать начало новому растению.

У животных радиус индивидуальной активности тесно связан с физическими возможностями организма и особенностями его жизнедеятельности. Для виноградной улитки он составляет несколько десятков метров, для ондатры — несколько сотен метров, для северного оленя — более ста километров. Вследствие ограниченности радиусов активности лесные полёвки, обитающие в одном лесу, имеют немного шансов встретиться в период размножения с лесными полёвками, населяющими соседний лес. Травяные лягушки, мечущие икру в одном озере, изолированы от лягушек другого озера, расположенного в нескольких километрах от первого. В обоих случаях изоляция неполная, поскольку отдельные полёвки и лягушки могут мигрировать из одного местообитания в другое.

Таким образом, особи любого вида распределены внутри видового ареала неравномерно. Участки территории с относительно высокой плотностью населения чередуются с участками, где численность вида низкая или особи данного вида совсем отсутствуют. Поэтому вид рассматривается как совокупность отдельных групп организмов — популяций.

Популяция — это совокупность особей данного вида, занимающих определённый участок территории внутри ареала вида, свободно скрещивающихся между собой и частично или полностью изолированных от других популяций. Реально вид существует в виде популяций. Генофонд вида представлен генофондами популяций. По современным представлениям, именно популяция является *элементарной единицей эволюции*.

Формирование синтетической теории эволюции. Проблема наследования изменений была ключевой для судьбы дарвиновской теории. Во времена Дарвина господствовали представления о слитной наследственности.

Наследственность объяснялась слиянием крови предковых форм. «Крови» родителей смешиваются, давая потомство с промежуточными признаками. Именно с этой позиции выступал против теории Дарвина математик Ф. Дженкин. Он считал, что накопление благоприятных уклонений невозможно, так как при скрещивании они растворяются, разбавляются, становятся пренебрежимо малыми и, наконец, исчезают вовсе. Дарвин, нашедший ответы на большинство возражений против своей теории, выдвинутых его современниками, этим возражением был поставлен в тупик.

Выход из него давала теория корпускулярной, или дискретной, наследственности, созданная Г. Менделем и давшая начало современной генетике. Наследственность дискретна. Каждый родитель передаёт своему потомку одинаковое количество генов. Гены могут подавлять или модифицировать проявления других генов, но не способны изменять информацию, записанную в них. Иначе говоря, гены не изменяются при слиянии с другими генами и передаются следующему поколению в той же форме, в какой они получены от предыдущего. В случае неполного доминирования мы действительно наблюдаем у потомков первого поколения промежуточное проявление признаков родителей. Но во втором и в последующих поколениях родительские признаки могут вновь проявиться в неизменном виде (см. 10 класс, гл. 10).

В 1920-х гг. было положено начало синтеза дарвинизма и генетики. Решающую роль в осуществлении этого синтеза сыграл выдающийся отечественный генетик С. С. Четвериков. На основании своих работ по анализу природных популяций он пришёл к пониманию механизмов накопления и поддержания индивидуальной изменчивости. Впоследствии (в 30-е — 40-е годы XX века) к синтезу идей корпускулярной генетики с классическим дарвинизмом пришли Р. Фишер, Дж. Холдейн и С. Райт. Крупный вклад в формирование современной синтетической теории эволюции внесли зоолог Э. Майр и палеонтолог Дж. Симпсон. Теория естественного отбора была развита в трудах выдающегося отечественного учёного И. И. Шмальгаузена. Основы экологии, биогеографии, филогенетической систематики и этологии (науки о поведении животных), заложенные в трудах Дарвина, развились в самостоятельные науки и, в свою очередь, внесли важнейший вклад в формирование современных представлений о путях, механизмах и закономерностях эволюции. Значимые успехи эволюционной биологии в последние годы были достигнуты благодаря активному применению в эволюционных исследованиях идей и методов молекулярной генетики и биологии развития.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Вид представляет собой реально существующую элементарную единицу живой природы.
- Основой существования вида как генетической единицы живой природы является его репродуктивная изоляция.

- Подавляющее большинство видов живых организмов состоит из отдельных популяций.
- Популяция, по современным представлениям, является элементарной эволюционной единицей.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Дайте определение понятия «вид».
- 2 Какие биологические механизмы препятствуют обмену генами между видами?
- 3 В чём причина бесплодности межвидовых гибридов?
- 4 Что такое ареал вида?
- 5 Проиллюстрируйте примерами географическую и экологическую изоляцию групп организмов одного вида.
- 6 Что такое радиус индивидуальной активности организмов? Приведите примеры радиуса индивидуальной активности для некоторых растений и животных.
- 7 Что такое популяция? Дайте определение.

1.4.2. Материал для естественного отбора

1.4.2.1. Эволюционная роль мутаций

Благодаря изучению генетических процессов в популяции живых организмов, эволюционная теория получила дальнейшее развитие. Большой вклад в популяционную генетику внёс русский учёный С. С. Четвериков. Он обратил внимание на насыщенность природных популяций рецессивными мутациями, а также на колебания частоты генов в популяциях в зависимости от действия факторов внешней среды и обосновал положение о том, что эти два явления — ключ к пониманию процессов эволюции.

Действительно, *мутационный процесс — постоянно действующий источник наследственной изменчивости*. Гены мутируют с определённой частотой. Подсчитано, что в среднем одна из 100 тыс. — 1 млн гамет несёт вновь возникшую мутацию в определённом локусе. Поскольку одновременно мутируют многие гены, то 10—15% гамет несут те или иные мутантные аллели. Поэтому природные популяции насыщены самыми разнообразными мутациями. Благодаря комбинативной изменчивости и половому процессу мутации могут широко распространяться в популяциях. Большинство организмов гетерозиготны по многим генам. Можно было бы предположить, что в результате полового размножения среди потомства будут постоянно выплываться гомозиготные организмы, а доля гетерозигот должна неуклонно падать. Однако этого не происходит. Дело в том, что в подавляющем большинстве случаев гетерозиготные организмы оказываются лучше приспособленными к условиям существования, чем гомозиготные.

Вернёмся к примеру с бабочкой берёзовой пяденицей. Казалось бы, светлоокрашенных бабочек, гомозиготных по рецессивной аллели (**aa**), обитающих в лесу с тёмными стволами берёз, быстро должны уничтожить враги и единственной формой в данных условиях обитания должны стать тёмноокрашенные бабочки, гомозиготные по доминантной аллели (**AA**). Но на протяжении длительного времени в берёзовых лесах Южной Англии постоянно встречаются светлые бабочки берёзовой пяденицы. Оказалось, что гусеницы, гомозиготные по доминантной аллели, плохо усваивают листья берёз, покрытых гарью и копотью, а гетерозиготные гусеницы растут на этом корме гораздо лучше. Следовательно, большая биохимическая гибкость гетерозиготных организмов приводит к их лучшему выживанию и отбор действует в пользу гетерозигот.

Таким образом, хотя большинство мутаций в данных конкретных условиях оказывается вредным и в гомозиготном состоянии мутации, как правило, снижают жизнеспособность особей, они сохраняются в популяциях благодаря отбору в пользу гетерозигот. Для понимания эволюционных преобразований важно помнить, что мутации, вредные в одних условиях, могут повышать жизнеспособность в других условиях среды. Помимо приведённых примеров, можно указать на следующий. Мутация, обуславливающая недоразвитие или полное отсутствие крыльев у насекомых, безусловно вредна в обычных условиях, и бескрылые особи быстро вытесняются нормальными. Но на океанических островах и горных перевалах, где дуют сильные ветры, такие насекомые имеют преимущество перед особями с нормально развитыми крыльями, так как не сдуваются в океан потоками воздушных масс.

Таким образом, *мутационный процесс — источник резерва наследственной изменчивости популяций*. Поддерживая высокую степень генетического разнообразия популяций, он создаёт основу для действия естественного отбора.

Мутационная изменчивость приводит к появлению большого числа вариантов каждого из генов. Однако мутации (генные, хромосомные и геномные) приводят лишь к изменениям генов и соответственно признаков, уже имеющихся у организмов. Эволюционное развитие живой природы наглядно демонстрирует появление большого массива новых признаков и свойств, в особенности при возникновении крупных таксономических образований — новых типов и классов. Откуда же берутся новые признаки и свойства?

1.4.2.2. Появление новых генов. Отключение генов

Дупликации. Одним из ведущих механизмов, приводящих к появлению новых генов, является **удвоение ДНК**. В зависимости от размеров удваивающихся участков молекулярные генетики выделяют внутригенные дупликации, удвоение целых генов, участков хромосом и некоторые другие (рис. 1.16).

Внутригенные дупликации

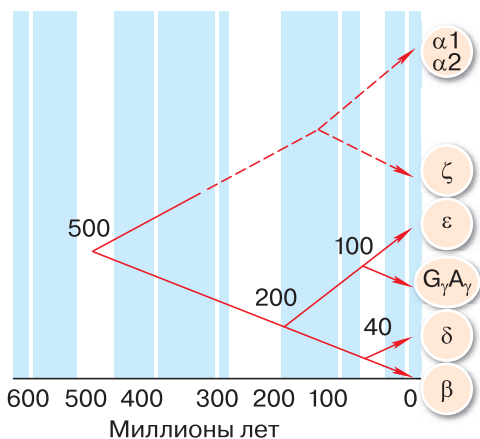
Удвоение целых генов

Дупликации участков хромосом
и некоторые другие**Рис. 1.16.** Дупликации наследственного материала

новых генов. К аналогичным результатам приводит и удвоение части гена, удлиняющее исходный вариант и, следовательно, вызывающее появление другого гена и соответствующего ему признака. Примером новообразования генов таким способом может служить так называемое семейство генов гормона роста. Так, в результате дупликаций и мутаций из одного исходного гена возникли гены гормона роста, пролактина, плацентарного лактогена и др. Другим примером дупликаций с последующим мутированием служит семейство глобиновых генов (рис. 1.17). Так, у человека в результате комбинации разных белковых продуктов представителей этого семейства — на этапе эмбрионального развития, у плода и организма с легочным дыханием — образуется тот вид гемоглобина, который наиболее эффективно переносит кислород в соответствующих условиях.

Горизонтальный перенос генов является процессом, при котором организм включает генетический материал от другой особи, не будучи ее потомком.

Ещё на заре биологической эволюции, когда формировались многочисленные сообщества прокариот и появлялись первые эукариоты, шёл актив-

**Рис. 1.17.** Эволюция глобиновых генов

Значение таких дупликаций для эволюционных преобразований впервые было отмечено в начале 30-х гг. XX в. известным английским биохимиком Дж. Холдейном (см. 10 класс, гл. 2). Учёный и его коллеги предположили, что после удвоения гена его копии могут по-разному накапливать мутации. Впоследствии оказалось, что дупликации целых генов — не единственный способ возникновения

новых генов. К аналогичным результатам приводит и удвоение части гена, удлиняющее исходный вариант и, следовательно, вызывающее появление другого гена и соответствующего ему признака. Примером новообразования генов таким способом может служить так называемое семейство генов гормона роста. Так, в результате дупликаций и мутаций из одного исходного гена возникли гены гормона роста, пролактина, плацентарного лактогена и др. Другим примером дупликаций с последующим мутированием служит семейство глобиновых генов (рис. 1.17). Так, у человека в результате комбинации разных белковых продуктов представителей этого семейства — на этапе эмбрионального развития, у плода и организма с легочным дыханием — образуется тот вид гемоглобина, который наиболее эффективно переносит кислород в соответствующих условиях.

Горизонтальный перенос генов является процессом, при котором организм включает генетический материал от другой особи, не будучи ее потомком.

Ещё на заре биологической эволюции, когда формировались многочисленные сообщества прокариот и появлялись первые эукариоты, шёл активный обмен генами между организмами, свидетельством чего является анализ геномов современных организмов (рис. 1.18). Из данных, представленных на рисунке, видно, что площади кругов соответствуют количеству семейств белков, а следовательно, и генов, встречающихся у представителей каждого царства. 1157 белковых семейств — общие для представителей всех трех групп; 2372 встречаются только у эукариот; 831 имеются у эукариот и бактерий; 114 характерны для эукариот и архей и т. д.

Анализ нескольких сотен прокариотических геномов показал, что

не менее 80% генов в каждом геноме участвовали в процессе горизонтального обмена на том или ином этапе эволюции прокариот.

Для горизонтального переноса генов необходимо, во-первых, наличие посредника для «транспортировки» генетического материала между организмами и клетками; и, во-вторых, существование молекулярного механизма для встраивания чужеродных фрагментов ДНК в геном другого организма. Ретровирусы способны выполнять обе эти функции, поскольку они могут включать в свой геном участки хромосомной ДНК и «пересекать» видовые границы. В случае транспозонов и других типов ДНК-опосредованной транспози-

ции межклеточный транспорт может обеспечиваться и неким инфекционным агентом — плазмидами бактериальных клеток. Действительно, многие встречающиеся в природе плазмиды содержат транспозиционные элементы, которые могут перемещаться из плазмид в бактериальную хромосому и наоборот. Подобным образом достаточно быстро формируется устойчивость к антибиотикам у ранее чувствительных микроорганизмов.

Однако не следует считать, что перенос генов от одних организмов в геномы других неродственных организмов характерен лишь для самых ранних этапов эволюции. Многочисленные исследования геномов самых различных организмов, находящихся на всех ступенях эволюционной лестницы, выполненных учёными в последние два десятилетия, убедительно доказывают существование горизонтального транспорта генов в течение всего процесса развития живой природы.

Например, у всех млекопитающих, включая человека, до 40% хромосомной ДНК представлено внедрившимися в разное время вирусными геномами. Так, несколько ДНК-копий РНК-содержащих вирусов (эндогенные вирусы) успешно работают в плаценте, создавая крупные симпластические образования, облегчающие транспорт веществ от матери к плоду и в противоположном направлении. Другие вирусные последовательности, активизирующиеся при определённых условиях, могут служить причиной развития некоторых заболеваний, в том числе злокачественных новообразований.

Иным источником новых генов могут служить прокариотические и эукариотические симбионты и паразиты. Пример последнего — перенос частей генома паразитической бактерии в геномы нескольких видов насекомых и круглых червей. С другой стороны, паразитическое растение Раффлезия (см. рис. 6.46) заимствовала часть генов хозяина — лианы, на корнях кото-

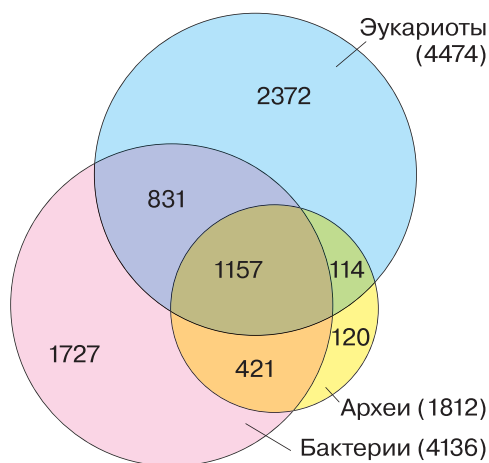


Рис. 1.18. Распределение белковых семейств в трёх надцарствах живой природы

рого она паразитирует. Это касается не только хромосомных, но и митохондриальных генов.

Таким образом, на всех этапах эволюционного развития идёт активный обмен генами между экологически связанными между собой организмами разных видов; продолжается он и в настоящее время.

Утрата и отключение генов — псевдогенизация.

Даже беглого взгляда на структурно-функциональную организацию представителей классов высших позвоночных животных — рептилий, птиц и млекопитающих — достаточно, чтобы убедиться в том, что у них не проявляются признаки и свойства предковых форм. Лишь в раннем эмбриогенезе возникают черты зародышей предков, впоследствии не развивающиеся (см. Биогенетический закон в учебнике 10 класса). Такие наблюдения со всей очевидностью показывают, что некоторые гены перестают работать у потомков или исчезают. Как это происходит?

Во-первых, участок молекулы ДНК, или хромосомы, может быть просто утрачен в результате нарушений молекулярных механизмов репарации. Ес-

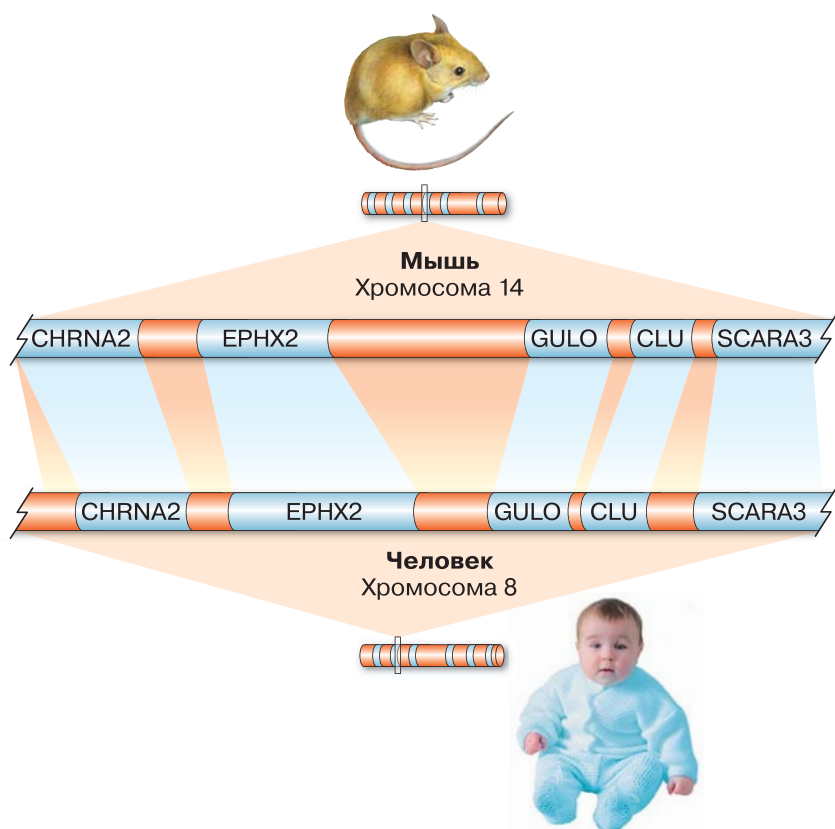


Рис. 1.19. Отключение генов путём псевдогенизации

ли такая мутация не влияет на жизнеспособность, то особь, её несущая, не попадает под давление отбора и выживает. Гены *and1* и *and2* обнаружены у костных рыб, а также у слоновой акулы — древней хрящевой рыбы. Существование гена, кодирующего *актинодин*, у слоновой акулы показывает, что это древнее семейство генов позвоночных, которое у надкласса четвероногих исчезло или очень сильно изменилось. У наземных позвоночных таких генов просто нет. На основании этого ученые сделали вывод, что гены имеют древнее происхождение, а в процессе выхода рыб на сушу были утрачены за ненадобностью.

Во-вторых, мутация, затрагивающая регуляторную часть гена, приводит к прекращению его экспрессии. Подобное состояние гена получило название *псевдогена*, а процесс выведения гена из строя — *псевдогенизации*. Например, хромосомы человека и мыши (рис. 1.19) содержат примерно одинаковое количество функциональных генов (оранжевый цвет), расположенных сходным образом. Число же псевдогенов (синий цвет) у них разное. По-видимому, это связано с различиями в их эволюционной истории и отражает какие-то важные её вехи. Функциональному гену мыши *Gulo* соответствует в геноме человека псевдоген. Изначально ген *Gulo* кодирует образование фермента, обеспечивающего синтез витамина **С**. У большинства млекопитающих он находится в активной форме, однако приматы — предки человека — утратили его примерно 40 млн лет назад и с тех пор получают витамин **С** только с пищей. Возможность выживания в этом случае обусловлена особенностями питания человекообразных обезьян, большую долю в рационе которых занимали фрукты, содержащие большое количество аскорбиновой кислоты.

1.4.2.3. Роль регуляторных генов

Анализ геномов организмов, стоящих на различных ступенях эволюционной лестницы, показывает, что количество структурных генов у них отличается не очень значительно. Например, у объекта генетических исследований — круглого червя *Cenozabditis* около 20 тыс. генов, а у человека — 23—25 тыс. В то же время число признаков, определяемых этими генами у человека, значительно. По весьма приблизительным подсчётам, 25 тыс. генов представителя нашего вида вызывают развитие более 300 тыс. признаков. В чём же причина такого многообразия фенотипических проявлений столь небольшого количества генов?

По мнению учёных, таких причин как минимум две.

Во-первых, это изменения регуляторных генов, приводящих к изменению времени и места включения в работу (экспрессии) генов. Активация гена на более ранних этапах онтогенеза вызывает и усиливает *плейотропный эффект* гена и, следовательно, большее число его проявлений (см. 10 класс, гл. 9) в виде нескольких признаков и свойств.

Во-вторых, у более высокоорганизованных групп живых организмов в большей степени изменяется сам процесс реализации наследственной информации. Вспомните, в 10 классе, говоря о транскрипции, мы рассма-

тривали процесс альтернативного сплайсинга (см. 10 класс, гл. 4). В результате различного соединения экзонов он даёт разные по последовательности нуклеотидов иРНК, синтезированные на одном и том же гене. Такие иРНК транслируются в неодинаковые белки — разные признаки. При изучении процессов реализации наследственной информации оказалось, что у червя *C. elegans* альтернативный сплайсинг характерен лишь для 20% генов, в то время как у человека более 90% генома реализуется с участием этого процесса.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- В реально существующих популяциях непрерывно протекает мутационный процесс, приводя к появлению новых вариантов генов и соответственно признаков.
- Мутации являются постоянным источником наследственной изменчивости.
- Ведущую роль в появлении новых генов играют внутригенные и генные дупликации.
- Появление у организма большого количества признаков обусловлено более ранней экспрессией некоторых генов и приобретением ими плеiotропного эффекта.
- На число и разнообразие признаков организма оказывает значительное влияние альтернативный сплайсинг.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Какие популяционно-генетические закономерности выявил русский биолог С. С. Четвериков?
- 2 Какова частота мутирования одного определённого гена в естественных условиях существования особей?
- 3 Как можно объяснить появление в ходе эволюции множества новых генов у более высокоорганизованных групп организмов по сравнению с менее организованными?
- 4 Что служит причиной многократного превышения числа признаков организма над количеством его генов?

1.4.3. Генетические процессы в популяциях

В разных популяциях одного вида частота мутантных генов неодинакова. Практически нет двух популяций с совершенно одинаковой частотой встречаемости одного и того же варианта признака. Эти различия могут быть

обусловлены тем, что популяции обитают в неодинаковых условиях внешней среды. Направленное изменение частоты генов в популяциях обусловлено действием естественного отбора. Но и близко расположенные, соседние популяции могут отличаться друг от друга столь же значительно, как и далеко расположенные. Это объясняется тем, что в популяциях ряд процессов приводит к *ненаправленному случайному изменению частоты генов*, или, другими словами, к преобразованию их генетической структуры.

Одним из таких процессов является **дрейф генов** при миграции животных или растений. На новом месте обитания поселяется незначительная часть исходной популяции. Генофонд вновь образованной группы неизбежно меньше генофонда родительской популяции, и частота генов в ней будет значительно отличаться от частоты генов исходной популяции. Гены, до того редко встречающиеся, вследствие полового размножения быстро распространяются среди членов новой популяции. В то же время широко распространённые гены могут отсутствовать, если их не было в генотипе основателей новой популяции — так называемый эффект основателя (рис. 1.20).

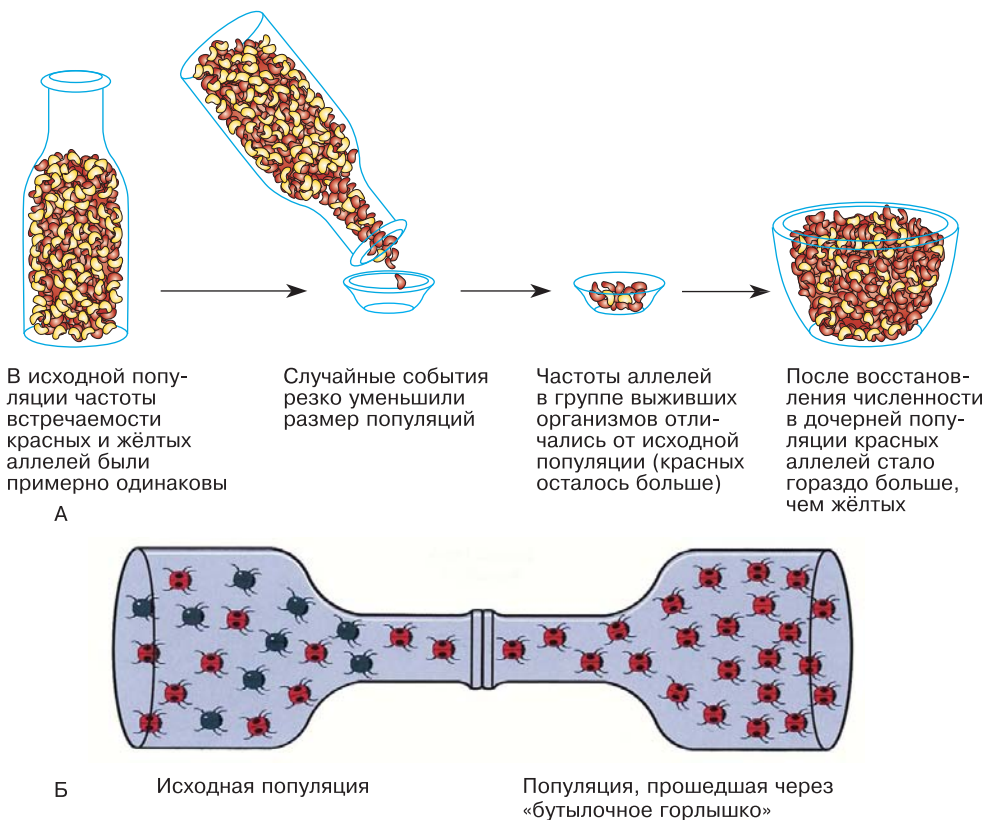


Рис. 1.20. Эффект основателя

На изменение частоты генов влияют и **природные катастрофы**. Лесные или степные пожары, наводнения и т. д. вызывают массовую неизбирательную гибель живых организмов, особенно малоподвижных форм (растения, беспозвоночные, рептилии, земноводные и др.). Особи, избежавшие гибели, остаются в живых благодаря чистой случайности. В популяции, пережившей катастрофическое понижение численности, частоты аллелей будут иными, чем в исходной популяции. Вслед за спадом численности начинается массовое размножение, начало которому даёт оставшаяся немногочисленная группа организмов. Генетический состав этой группы и определит генетическую структуру всей популяции в период её расцвета. При этом некоторые мутации — варианты аллелей могут совсем исчезнуть, а концентрация других — резко повыситься.

В биоценозах часто наблюдаются **периодические колебания численности** популяций, связанные со сменой сезона года. В неблагоприятный период (в средней полосе — зимой, в экваториальной — во время засухи) происходит массовая неизбирательная гибель организмов. Например, в малоснежную зиму почва промерзает на большую, чем обычно, глубину, и организмы (мыши, кроты, личинки беспозвоночных), зимующие в ней, погибают.

Изменение частот аллелей в популяциях связано также с колебаниями численности в результате взаимоотношений типа «хищник — жертва». Усиленное размножение объектов охоты хищников на основе увеличения кормовых ресурсов приводит, в свою очередь, к усиленному размножению хищников. Увеличение же численности хищников вызывает массовое уничтожение их жертв. Недостаток кормовых ресурсов обуславливает сокращение численности хищников (рис. 1.21) и восстановление размеров популяций жертв.

Эти и другие колебания численности называют «**волны численности**». Они изменяют частоту генов в популяциях, делая их отличными друг от друга, в чём и состоит эволюционное значение волн численности.

К изменениям частоты генов в популяциях приводит также ограничение обмена генами между ними вследствие пространственной (географической и экологической) **изоляции**. Как мы уже говорили, реки служат преградой для сухопутных видов, горы и возвышенности разделяют равнинные популяции. Каждая из изолированных популяций обладает специфическими особенностями, связанными с условиями жизни. Важное следствие изоляции — **близкородственное скрещивание, или инбридинг**. Благодаря инбридингу рецессивные аллели, распространяясь в популяции, проявляются в гомозиготном состоянии, что снижает жизнеспособность организмов. В человеческих популяциях изоляты с высокой степенью инбридинга встречаются в горных районах, на островах. Сохранила ещё значение изоляция отдельных групп населения по кастовым, религиозным, расовым и другим причинам.

Эволюционное значение различных форм изоляции состоит в том, что она закрепляет и усиливает генетические различия между популяциями,

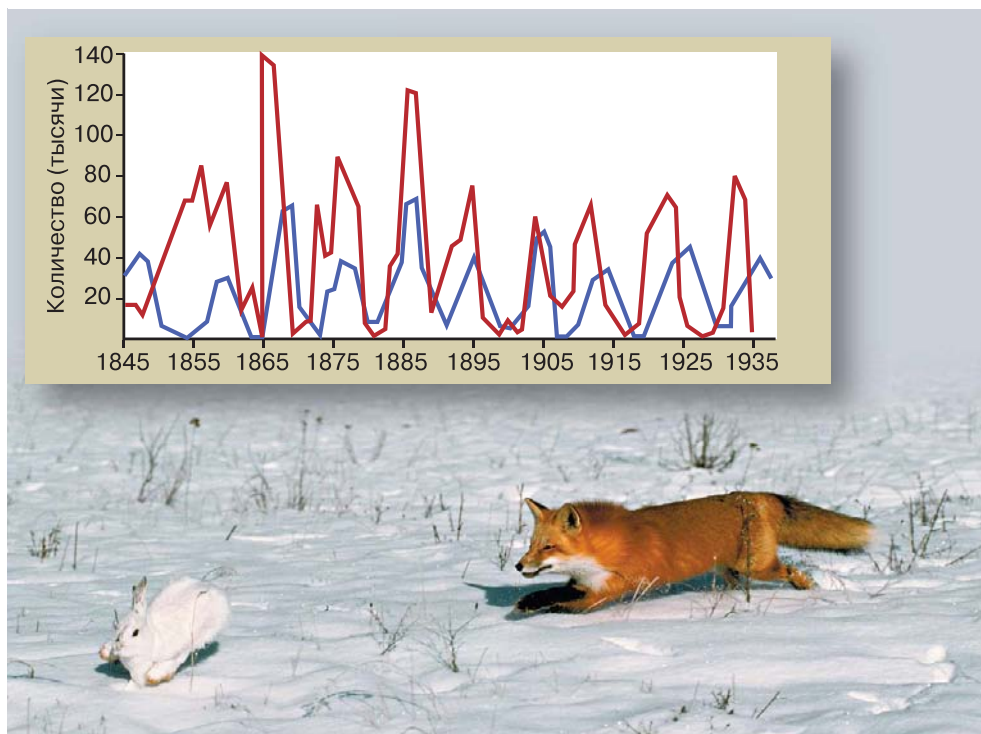


Рис. 1.21. Взаимоотношения «хищник — жертва». В центре — диаграмма численности особей (красная линия — заяц; синяя — лиса)

а также в том, что разделённые части популяции или вида в различных условиях подвергаются неодинаковому давлению отбора.

Таким образом, изменения частоты генов, вызванные теми или иными факторами внешней среды, служат основой возникновения различий в генетической организации популяции и в дальнейшем обуславливают преобразование их в новые виды. Поэтому изменения популяций в ходе естественного отбора называют *микроразволюцией*.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- В природе часто встречаются резкие колебания численности особей, связанные с массовой неизбирательной гибелью организмов.
- Генотипы случайно сохранившихся особей определяют генофонд новой популяции в период её расцвета (эффект основателя).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Какие процессы приводят к изменению частоты встречаемости генов в популяциях?
- 2 Почему разные популяции одного вида отличаются по частоте генов?
- 3 Что такое микроэволюция?
- 4 Как взаимоотношения типа «хищник — жертва» влияют на изменение частот аллелей в популяциях?
- 5 Каково эволюционное значение изоляции популяций одного вида?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 В чём причина гетерозиготности природных популяций?
- 2 Какова эволюционная роль мутаций?
- 3 Почему популяции в настоящее время считают элементарными эволюционными единицами?

1.4.4. Формы естественного отбора

Понятие о естественном отборе существенно расширилось и углубилось благодаря развитию генетики, а также трудам И. И. Шмальгаузена, С. С. Четверикова и других учёных.

Рассмотрим естественный отбор в свете современных представлений. Под действие отбора могут попасть как отдельные особи, так и целые популяции. В любом случае отбор сохраняет наиболее приспособленные к данным условиям существования организмы. Факторами естественного отбора служат условия внешней среды. В зависимости от этих условий отбор действует в разных направлениях и приводит к неодинаковым эволюционным результатам. Наблюдать за действием естественного отбора удобно на примере изменения популяционной нормы реакции, отражающей состояние генофонда данной популяции. Вспомним, что норма реакции отражает те пределы, в которых в популяции встречаются варианты того или иного признака или свойства. По любому качеству большая часть организмов, входящих в популяцию или вид, близка к средней норме. Чем дальше от средней нормы, тем реже обнаруживается подобное отклонение. Наконец, за пределами нормы реакции организма с большей или меньшей степенью выраженности признака не встречаются.

Различают несколько форм естественного отбора: движущий, стабилизирующий и разрывающий (дизруптивный).

1.4.4.1. Движущий отбор

Движущая форма естественного отбора действует при мягком, некатастрофическом изменении условий внешней среды. Давление отбора действует против особей, имеющих отклонения от средней нормы, либо в сторону усиления, либо в сторону ослабления выраженности признака, а также против тех организмов, которые в результате мутаций приобрели ещё большие отклонения в данном направлении (рис. 1.22). Кто же получает преимущества в этих условиях? Очевидно, организмы, обладающие отклонениями в противоположную сторону, и особи, у которых мутации вызвали ещё более глубокие изменения признака. В результате происходит сдвиг нормы реакции ($a - b \rightarrow a_1 - b_1$), возникает новая средняя норма (c_1) вместо старой (c), перестающей соответствовать новым условиям существования. Если условия среды продолжают меняться в том же направлении, в следующем поколении всё повторяется вновь, и сдвиг нормы реакции становится более выраженным ($c \rightarrow c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3 \dots$). В дальнейшем движущая форма естественного отбора может привести к появлению нового вида.

Выше был рассмотрен пример с бабочкой берёзовой пяденицей. Распространение тёмноокрашенного мутанта этой бабочки — результат движущего отбора. Яркими примерами действия отбора в пользу признака, способствующего выживанию, может служить возникновение устойчивости животных к ядохимикатам. Например, среди серых крыс очень быстро распространилась устойчивость к яду, вызывающему кровотечение. Сейчас крысы без вреда для себя поедают приманки, отравленные таким ядом. К аналогичному результату привело использование ядохимикатов в сельском хозяйстве при борьбе с насекомыми-вредителями. После воздействия ядов выживают особи, случайно оказавшиеся устойчивыми к яду. Эти особи имеют преимущество в размножении, благодаря которому признак устойчивости распространяется и становится преобладающим среди особей данного вида.

Таким образом, *ведущая роль в распространении новых признаков внутри данного вида при изменении условий внешней среды принадлежит движущей форме естественного отбора.*

Как уже говорилось, изменение признака может происходить как в сторону его усиления, большей выраженности, так и в сторону ослабления

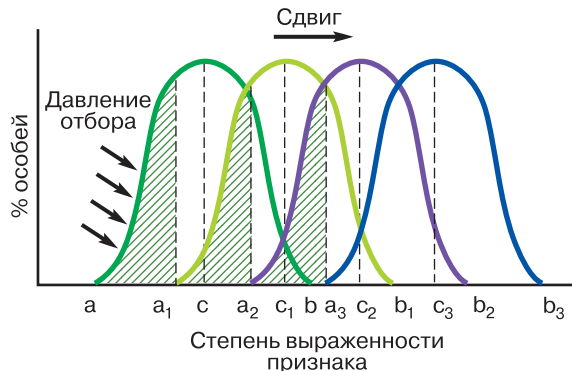


Рис. 1.22. Движущая форма естественного отбора: $a - b$, $a_1 - b_1$, $a_2 - b_2$, $a_3 - b_3$ — пределы нормы реакции; c , c_1 , c_2 , c_3 — средние значения; $a_1 - a_1$, $a_2 - a_2$, $a_3 - a_3$ — организмы, подпадающие под отбор

вплоть до полного исчезновения. Примерами утраты признака, как результата действия движущего отбора, могут служить редукция глаз у кротов, ведущих подземный образ жизни, или у пещерных животных, утрата крыльев у некоторых видов птиц и насекомых, редукция корней и листьев у растений-паразитов, пищеварительной системы у ленточных червей и многие другие.

Роль естественного отбора не сводится к отсеvu отдельных признаков, понижающих жизнеспособность или конкурентоспособность организмов. Отбор определяет направление эволюции, последовательно собирая, интегрируя многочисленные случайные уклонения. Следует помнить, что реально в природе отбор сохраняет не отдельные признаки, а целые фенотипы, т. е. весь комплекс признаков, а значит, определённые комбинации генов, присущие данному организму.

Отбор нередко сравнивают с деятельностью скульптора. Как скульптор из бесформенной глыбы мрамора создаёт произведение, поражающее гармоничностью всех его частей, так и отбор создаёт приспособления и виды, устраняя от размножения менее удачные особи или, другими словами, менее удачные комбинации генов. Поэтому говорят о творческой роли естественного отбора, поскольку результатом его действия являются новые виды организмов, новые формы жизни.

1.4.4.2. Стабилизирующий отбор

Стабилизирующая форма естественного отбора действует в постоянных условиях среды. На значение этой формы отбора указал выдающийся российский учёный И. И. Шмальгаузен. Стабилизирующий отбор направлен на поддержание ранее сложившегося среднего признака или свойства:

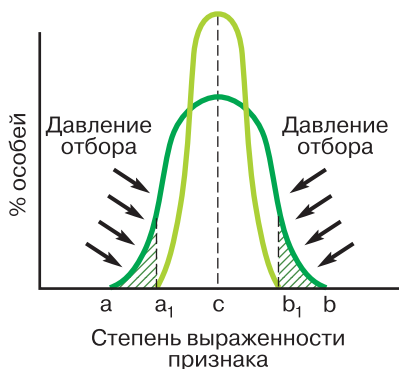


Рис. 1.23. Стабилизирующая форма естественного отбора: $a - b$, $a_1 - b_1$ — пределы нормы реакции; c — среднее значение; $a - a_1$, $b - b_1$ — организмы, подпадающие под отбор

размеров и формы цветка у растений, размеров тела или отдельных его частей у животных, концентрацию гормонов или глюкозы в крови у позвоночных и т. д. Давление отбора при этом направлено против особей, имеющих отклонения как в сторону усиления, так и в сторону ослабления выраженности признака, в пользу организмов, признаки которых близки к средним значениям, — происходит сужение нормы реакции. В следующем поколении мутационный процесс вновь расширяет норму реакции, а стабилизирующая форма естественного отбора опять сужает её. Так продолжается из поколения в поколение, пока условия существования остаются неизменными (рис. 1.23).

Стабилизирующий отбор сохраняет приспособленность вида, устраняя резкие отклонения выраженности признака от



Рис. 1.24. Реликтовые формы: гинкго (А — живое растение; Б — его отпечаток в осадочных породах) и гаттерия (В)

средней нормы. Так, у насекомоопыляемых растений размеры и форма цветков очень устойчивы. Объясняется это тем, что цветки должны соответствовать строению и размерам тела насекомых-опылителей. Шмель не способен проникнуть в слишком узкий венчик цветка, хоботок бабочки не сможет коснуться слишком коротких тычинок у растений, находящихся в очень длинном венчике. В обоих случаях цветки, не вполне соответствующие строению опылителей, не образуют семян. Следовательно, гены, обусловившие отклонение от нормы, устраняются из генофонда вида.

Вот другой пример действия стабилизирующего отбора. На скалистом побережье Англии и Шотландии, характеризующемся сильными порывами ветра, воробьёв с более длинными и укороченными крыльями уносит в океан. Среднекрылые птицы не отлетают далеко от убежищ, поэтому этот признак сохраняется отбором.

Стабилизирующая форма естественного отбора *предохраняет сложившийся генотип от разрушающего действия мутационного процесса*. Благодаря стабилизирующему отбору до наших дней сохранились «живые ископаемые» — кистепёрая рыба латимерия, предки которой были широко распространены в палеозойскую эру; представитель древних рептилий гаттерия, внешне похожая на крупную ящерицу, но не утратившая черты строения пресмыкающихся мезозойской эры; реликтовый таракан, мало изме-

нившийся со времён каменноугольного периода; голосеменное растение гинкго, дающее представление о древних формах, вымерших в юрском периоде мезозойской эры (рис. 1.24). Сумчатое млекопитающее североамериканский опоссум сохраняет облик, характерный для животных, живших десятки миллионов лет назад.

1.4.4.3. Разрывающий, или дизруптивный, отбор

Разрывающий, или дизруптивный (от лат. *disruptio* — разрываю), отбор по сути своей является вариантом движущего отбора или сочетанием движущей и стабилизирующей форм отбора. Он действует в условиях, характеризующихся резкими изменениями условий существования, т. е. ситуацией, в которой фактор изменяется не плавно, а скачкообразно. При этом под отбор попадают организмы со средней выраженностью признака, а преимущества в выживании получают организмы, имеющие отклонения как в сторону усиления, так и в сторону ослабления признака (рис. 1.25). Например, на океанических островах, где дуют сильные ветры, мухи с нормальными крыльями, как мы уже говорили, сдуваются в океан. Сохраняются особи с крупными крыльями, позволяющими сопротивляться ветру, и бескрылые насекомые, переходящие к ползающему способу передвижения.

Другой пример приводит известный отечественный эколог и эволюционист А. В. Яблоков. У земляных улиток имеется множество вариантов полос на раковине и пигментации входного отверстия от светло-жёлтого до тёмно-коричневого. В лесах, где почвы преимущественно коричневого цвета, чаще других встречаются моллюски с коричневой пигментацией, а на участках с жёлтой травой преобладают организмы с жёлтыми полосами.

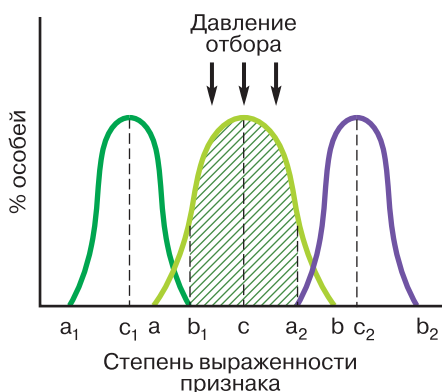


Рис. 1.25. Разрывающая форма естественного отбора:
 а — b — исходная норма реакции;
 b₁ — a₂ — организмы, подпадающие под отбор; a₁ — b₁ и a₂ — b₂ — новые формы реакции

1.4.4.4. Половой отбор

Раздельнополые животные различаются по строению органов размножения. Однако нередко различие полов распространяется и на внешние признаки, а также на поведение. Можно вспомнить яркий наряд из перьев у петуха, крупный гребень, шпоры на ногах, громкое пение. Очень красивы и хорошо заметны самцы фазанов по сравнению с гораздо более скромно окрашенными курочками. Клыки верхних челюстей — бивни — особенно сильно разрастаются у самцов моржей. Многочисленные примеры внешних различий в строении полов носят название *полового диморфизма* и обусловлены их ролью в половом отборе.



Рис. 1.26. Ритуальные бои самцов оленей в период размножения

Половой отбор представляет собой конкуренцию самцов за возможность размножения. Этой цели служат пение, демонстративное поведение, ухаживание. Часто между самцами возникают ритуальные поединки, демонстрирующие силу претендентов (рис. 1.26). Иногда они заканчиваются серьезными травмами одного или обоих животных. У птиц разбивка на пары в период размножения сопровождается токованием. Оно выражается в том, что птица принимает характерное положение тела, в особых движениях, в развёртывании и раздувании оперения, в издавании своеобразных звуков. Например, тетерева на токах собираются по несколько десятков на лесных полянах ещё ночью. Разгар тока приходится на раннее утро. Между самцами возникают жестокие драки, а самки в это время сидят на опушках поляны или в кустах. В результате полового отбора потомство оставляют наиболее активные, здоровые и сильные самцы, остальные отстраняются от размножения, и их генотипы исчезают из генофонда вида или популяции.

Образно выражаясь, можно сказать, что половой отбор — арена, на которой наилучшая приспособленность оказывается точнейшим образом связанной с успешностью оставления потомства. Иногда яркий брачный наряд появляется у животных только на период размножения. Самцы остро-мордой лягушки приобретают в воде красивую ярко-голубую окраску. Яркая окраска самцов и их демонстративное поведение демаскируют их перед хищниками и увеличивают вероятность гибели. Однако это выгодно для вида в целом, так как самки остаются в большей безопасности в период вы-



Рис. 1.27. Половой диморфизм у львов



Рис. 1.28. Половой диморфизм и ревунов

ведения потомства. Связь между неброским внешним видом самок у птиц и заботой о потомстве хорошо видна на примере кулика-плавунчика, обитателя наших северных широт. У этих птиц яйца высидивает только самец. Самка же имеет гораздо более яркую окраску.

Половой диморфизм и половой отбор распространены в животном мире достаточно широко от рыб и вплоть до приматов (рис. 1.27, 1.28), у которых половой димор-

физм и различия в половом поведении представителей различных полов лежат не только в репродуктивной стратегии вида, но и продолжают определять впоследствии социальную структуру группы. Эту форму отбора следует рассматривать как частный случай внутривидового естественного отбора.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Естественный отбор представляет собой единственный фактор, направленно изменяющий частоту генов в популяциях.
- При изменении условий существования движущая форма естественного отбора вызывает дивергенцию, которая может в дальнейшем привести к появлению новых видов.
- Стабилизирующая форма естественного отбора закрепляет общий уровень приспособленности в неизменных условиях обитания.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Какие существуют формы естественного отбора?
- 2 В каких условиях внешней среды действует каждая форма естественного отбора? Приведите примеры.
- 3 В чём заключается причина появления у микроорганизмов, вредителей сельского хозяйства, и других организмов устойчивости к ядохимикатам?
- 4 Что такое половой отбор? Каково его значение для эволюции вида?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Как вы считаете, что является главной движущей силой процесса расхождения по признаку формы клюва у дарвиновских вьюрков?
- 2 Может ли один и тот же фактор среды в различных местах обитания быть причиной движущего и стабилизирующего отбора? Поясните ответ примерами.

1.4.5. Приспособленность организмов к условиям внешней среды как результат действия естественного отбора

Виды растений и животных удивительно приспособлены к условиям среды, в которых они обитают. Известно огромное количество самых разнообразных особенностей строения, обеспечивающих высокий уровень приспособленности вида к среде. В понятие «приспособленность вида» входят не только внешние признаки, но и соответствие строения внутренних органов выполняемым ими функциям. Примером может являться длинный и сложно устроенный пищеварительный тракт животных, питающихся растительной пищей. Соответствие физиологических функций организма условиям обитания, их сложность и разнообразие также входят в понятие приспособленности.

1.4.5.1. Приспособительные особенности строения тела, окраски покровов и поведения животных

По сути, вся структурно-функциональная организация представителей того или иного вида является приспособительной к тем условиям, в которых обитает данная группа. Наиболее демонстративны строение тела и окраска покровов.

Форма тела. У животных приспособительной к среде обитания является форма тела. Хорошо известен облик водного млекопитающего дельфина.

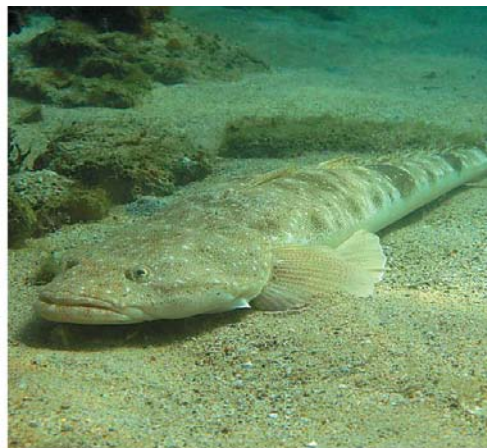


Рис. 1.29. Придонные рыбы имеют уплощённое в спинно-брюшном направлении тело

Самостоятельная скорость его движения в воде достигает 40 км/ч. Нередко описывают случаи, как дельфины сопровождают быстроходные морские суда, например эсминцы, движущиеся со скоростью 65 км/ч. Объясняется это тем, что животные пристраиваются к носу судна и используют гидродинамическую силу корабельных волн. Но это не их естественная скорость. Плотность воды в 800 раз выше плотности воздуха. Как дельфину удастся преодолеть её? Помимо других особенностей строения, идеальной приспособленности дельфина к среде обитания и образу жизни способствует форма тела. Торпедовидная форма тела позволяет избежать образования завихрения потоков воды, обтекающих дельфина.

Обтекаемая форма тела способствует быстрому передвижению животных и в воздушной среде. Маховые и контурные перья, покрывающие тело птицы, полностью сглаживают его форму. Птицы лишены выступающих ушных раковин, а в полёте обычно втягивают ноги. В результате по скорости они намного превосходят всех других животных. Например, сокол-сапсан пикирует на свою жертву со скоростью до 290 км/ч. Птицы быстро движутся даже в воде. Наблюдали антарктического пингвина, плывущего под водой со скоростью около 35 км/ч.

Придонные рыбы имеют уплощённое в спинно-брюшном направлении тело и не выделяются на фоне морского дна (рис. 1.29).

У животных, ведущих скрытный, затаивающийся образ жизни, полезными оказываются приспособления, придающие им сходство с предметами окружающей среды. Причудливая форма тела у рыб, обитающих в зарослях водорослей (рис. 1.30), помогает им успешно скрываться от врагов.



Рис. 1.30. Причудливая форма тела рыб, обитающих в зарослях

Сходство с предметами среды обитания широко распространено и у насекомых. Известны жуки, своим внешним видом напоминающие лишайники, цикады, сходные с шипами тех кустарников, среди которых они живут. Насекомые палочники похожи на небольшую бурую или зелёную веточку (рис. 1.31), а некоторые прямокрылые насекомые имитируют лист (рис. 1.32).

Окраска покровов тела. Одним из средств защиты от врагов служит *покровительственная окраска*. Покровительственной называют окраску покровов тела, обеспечивающую их обладателям успех в борьбе за существование. Различают скрывающую или, наоборот, предупреждающую окраску.

Скрывающая окраска широко распространена среди самых различных животных.

Птицы, насиживающие яйца на земле, сливаются с окружающим фоном (рис. 1.33). Мало заметны и их яйца, имеющие пигментированную скорлупу, и вылупляющиеся из них птенцы (рис. 1.34). Защитный характер пигментации яиц подтверждается тем, что у видов, чьи яйца недоступны для врагов — крупных хищников, или у птиц, откладывающих яйца на скалах или закапывающих их в землю, покровительственная окраска скорлупы не развивается (рис. 1.35).

Гусеницы бабочек часто зелёные, под цвет листьев, или тёмные, под цвет коры или земли. Донные рыбы обычно окрашены под цвет песчаного дна (скаты и камбалы). При этом камбалы



Рис. 1.31. Насекомое палочник, похожее на небольшую веточку



Рис. 1.32. Листовка формой тела напоминает лист растения

способны ещё менять окраску в зависимости от цвета окружающего фона (рис. 1.36). Способность менять окраску путём перераспределения пигмента в покровах тела известна и у наземных животных (хамелеон).

Однотонная *маскирующая окраска* свойственна как насекомым (саранча) и мелким ящерицам, так и крупным копытным (антилопы) и хищникам



Рис. 1.33. Птицы, насиживающие яйца на земле, сливаются с фоном



Рис. 1.34. Покровительственная (скрывающая) окраска яиц и птенцов при выведении потомства на земле

(лев). Животные пустынь имеют, как правило, жёлто-бурую или песочно-жёлтую окраску.

Если фон среды неодинаков и меняется в разные сезоны года, многие животные изменяют окраску покровов тела. Например, обитатели средних и высоких широт (песец, заяц, горностай, белая куропатка) зимой имеют белую окраску, что делает их незаметными на снегу.

Двухтоновая скрывающая окраска часто наблюдается у водных животных. Так, у большинства рыб, например у сельди, спинка сильно пигментирована, а брюшная сторона тела — светлая. Если смотреть на рыбу сверху, из зоны большей освещённости, то на фоне сгущающегося мрака тёмная спинка практически незаметна. Напротив, при взгляде из глубины — в направлении большей освещённости незаметно брюшко. Такая окраска важна и для хищников (дельфины, акулы и др.), и для их жертв.

Иной вариант скрывающей окраски — *расчленяющая окраска*. Она характеризуется чередованием на теле тёмных и светлых полос и пятен, соответствующим смене света и тени в привычной для вида среде обитания. Подобное совпадение делает организм незаметным благодаря нарушению представления о его форме. Например, тигр охотится в засаде на опушках, где пучки жёлтой травы чередуются с тёмной почвой. Зебра, питаясь листвой кустарников, в саванне практически незаметна на фоне многостволья (рис. 1.37). Кроме этого, расчленяющая окраска нарушает представление о контурах тела, что делает её ещё более эффективной.



Рис. 1.35. Яйца птиц, откладываемые в защищённом месте, не окрашены

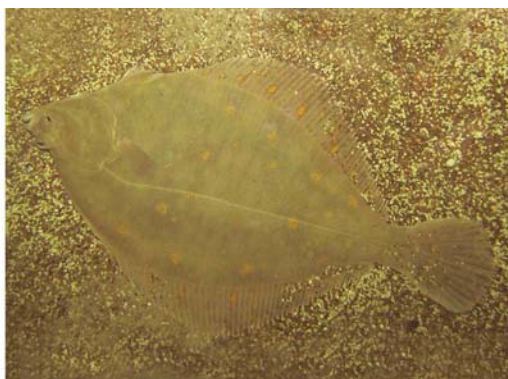


Рис. 1.36. Изменение окраски тела камбалы в зависимости от характера грунта

Однако нередко у животных наблюдается не скрывающая окраска тела, а, напротив, привлекающая внимание, демаскирующая. Такая окраска называется *предупреждающей*, или *предостерегающей*. Она свойственна ядовитым, обжигающим или жалящим насекомым: пчёлам, осам, жукам-нарывникам. Очень заметную божью коровку птицы никогда не склёвывают из-за выделяемого насекомым ядовитого секрета. Яркую предупреждающую окраску имеют несъедобные гусеницы, многие ядовитые змеи. Яркая окраска заранее предупреждает хищника о бесполезности и опасности нападения. Путём проб и ошибок хищники быстро приучаются избегать нападения на таких животных.

Эффективность предостерегающей окраски явилась причиной очень интересного явления — подражания, или *мимикрии* (от греч. *mimikos* — подражательный). Мимикрией называется сходство беззащитного или съедобного вида с одним или несколькими неродственными видами, хорошо защищёнными и обладающими предостерегающей окраской. С божьей коровкой размерами, формой тела и распределением пигментных пятен очень сходен один из видов тараканов. Некоторые съедобные бабочки подражают формой тела и окраской ядовитым бабочкам, мухи — осам. Возникновение мимикрии связано с накоплением под контролем естественного отбора мелких удачных мутаций у съедобных видов в условиях их совместного обитания с несъедобными.

Понятно, что подражание одних видов другим оправданно: истреблению подвергается значительно меньшая часть особей и вида-модели, и вида-подражателя. Жизненно необходимо, однако, чтобы численность вида-



Рис. 1.37. Расчленяющая окраска у зебр — тёмные полосы на светлом фоне — делает этих животных малозаметными в саваннах



Рис. 1.38. Гнездовой паразитизм у кукушек:
А — выкармливание кукушонка хозяйкой гнезда;
Б — сходство окраски яиц различных подвидов
кукушки (левый ряд) и птиц-хозяев
(средний и правый ряды)

подражателя была значительно меньше численности модели. В противном случае мимикрия не приносит пользы: у хищника не будет вырабатываться стойкий условный рефлекс на форму или окраску, которую следует избегать. Каким же образом численность вида-подражателя поддерживается на низком уровне? Оказалось, что генофонд этих видов насыщен летальными мутациями, которые в гомозиготном состоянии вызывают гибель насекомых. В результате высокий процент особей не доживает до половозрелого состояния.

Подражание окраски скорлупы яиц наблюдается и в случае гнездового паразитизма у птиц. Обыкновенная кукушка, как известно, сама не насиживает яиц, а откладывает их в гнёзда других видов. Яйца кукушки настолько похожи на яйца вида-хозяина, что самка не может различить их и насиживает вместе со своими (рис. 1.38).

Особенности строения или обмена веществ. Кроме покровительственной окраски, у животных и растений наблюдаются и другие средства защиты. У растений (кактусы, шиповник, боярышник, облепиха и др.) нередко образуются иглы и колючки, защищающие их от поедания травоядными животными. Такую же роль играют ядовитые вещества и обжигающие волоски, например у крапивы. Кристаллы щавелевокислого кальция, накапливающиеся в шипах некоторых растений, предохраняют их от поедания гусеницами, улитками и даже грызунами. Образования в виде твёрдого хитинового покрова у членистоногих (жуки, крабы), раковин у моллюсков, чешуи у крокодилов, панциря у броненосцев и черепах хорошо защищают их от многих врагов. Этому же служат иглы у ежа и дикобраза. Полезна для выживания и способность ящериц отбрасывать хвост при нападении хищника (рис. 1.39).

Все эти приспособления могли появиться лишь в результате естественного отбора, т. е. преимущественного выживания лучше защищённых особей.

Поведение. Для выживания организмов в борьбе за существование большое значение имеет приспособительное поведение. Защитное действие покровительственной окраски повышается при сочетании её с соответствующим поведением. Например, выпь гнездится в камышах. В минуты опасности она вытягивает шею, поднимает вверх голову и замирает. В такой позе её трудно обнаружить даже на близком расстоянии. Многие другие животные, не обладающие средствами активной защиты, в случае опасности принимают позу покоя и замирают (насекомые, рыбы, амфибии, птицы). Предостерегающая окраска у животных, наоборот, сочетается с демонстративным поведением, отпугивающим хищника.

Помимо затаивания или демонстративного, отпугивающего поведения, при приближении врага существует много других вариантов приспособительного поведения, обеспечивающего выживаемость взрослых особей или молоди. Сюда относится и интенсивное запасание корма на неблагоприятный сезон года. Особенно это относится к грызунам. Например, полёвка-экономка, распространённая в таёжной зоне, запасает на зиму до 10 кг зёрен злаков, сухой травы, корешков. Роющие грызуны (слепыши и др.) накапливают до 14 кг кусочков корней дуба, желудей, картофеля, степного горошка. Большая песчанка, живущая в пустынях Средней Азии, в начале лета срезает траву и затаскивает её в норы или оставляет на поверхности в виде стожков. Этот корм используется во второй половине лета, осенью и зимой. Речной бобр собирает обрубки деревьев, множество веток, которые складывает в воду возле своего жилища. Объём этих складов может достигать 20 м³. Запасы кормов делают и хищные животные. Норка, некоторые хорьки и псовые запасают лягушек, ужей, мелких зверьков, умерщвляя их и закапывая в определённых местах.

Примером приспособительного поведения служит и время наибольшей активности. В пустынях многие животные выходят на охоту ночью, когда



Рис. 1.39. Ящерица в момент опасности отбрасывает хвост, который и достается хищнику. Впоследствии хвост отрастает от культи вновь

спадают зной. Специализация активности животных по времени суток привела, например, у птиц к возникновению целых экологических групп видов. Так, ночные хищники (совы, филины и др.) охотятся ночью, а дневные — сокол, беркут, орёл — при свете дня.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Вся организация любого вида живых организмов является приспособительной к тем условиям, в которых он обитает.
- Приспособления организмов к среде обитания проявляются на всех уровнях организации: биохимическом, цитологическом, гистологическом и анатомическом.
- Физиологические адаптации — пример отражения структурных особенностей организации в данных условиях существования.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Приведите примеры приспособленности организмов к условиям существования.
- 2 Почему у некоторых видов животных наблюдается яркая демаскирующая окраска?
- 3 В чём сущность явления мимикрии?
- 4 Каким путём поддерживается низкая численность вида-подражателя?
- 5 Распространяется ли действие естественного отбора на поведение животных? Приведите примеры.

1.4.5.2. Забота о потомстве

Особенно большое значение имеют приспособления, обеспечивающие защиту потомства от врагов. Она может проявляться в разной форме. Многие рыбы охраняют икру, откладываемую между камнями, активно отгоняя и кусая приближающихся врагов. Азовские и каспийские бычки откладывают икру в ямки, вырытые в илистом дне, и охраняют её в течение всего эмбрионального периода развития. Самец колюшки строит гнездо со входом и выходом. Некоторые американские сомы прилепляют икру на брюхо и носят её на себе всё время развития. Многие рыбы вынашивают икру во рту (рис. 1.40) или даже в желудке. В это время родитель ничего не ест. Вылупившиеся мальки некоторое время держатся вблизи самки (или самца, в зависимости от вида) и при опасности прячутся в рот матери. Существуют виды лягушек, у которых икринки развиваются в специальной выводковой сумке на спине (рис. 1.41) или в голосовых мешках самца.



Рис. 1.40. Рыба, вынашивающая икру во рту

Наибольшая безопасность потомства достигается, очевидно, тогда, когда зародыши развиваются в теле матери (рис. 1.42). Плодовитость в этих случаях (как и при других формах заботы о потомстве) снижается, однако это компенсируется возрастанием выживаемости молоди.

У членистоногих и низших позвоночных образующиеся личинки ведут самостоятельный образ жизни и не зависят от родителей. Но в некоторых случаях забота родителей о потомках проявляется в форме обеспечения их пищей. Знаменитый французский естествоиспытатель Ж. А. Фабр впервые



Рис. 1.41. Примеры заботы о потомстве различных видов бесхвостых амфибий

описал такое поведение у одиночных ос. Они нападают на жуков, пауков, сверчков, богомолов, гусениц различных бабочек, обездвиживают их, погружая жало точно в нервные узлы (рис. 1.43), и откладывают на них яйца. Вылупляющиеся личинки ос обеспечены пищей: они питаются тканями живой жертвы, растут и затем окукливаются.

Описанные примеры заботы о потомстве встречаются у очень небольшого числа видов — беспозвоночных и низших позвоночных. В большинстве случаев оплодотворённые яйца оставляются на произвол судьбы. Именно этим объясняется очень высокая плодовитость этих животных. Большое число потомков в условиях высокой истребляемости молоди служит средством борьбы за существование вида в целом.

Значительно более сложные и многообразные формы заботы о потомстве наблюдаются у высших позвоночных. Сложные инстинкты и способность к индивидуальному обучению позволяют им со значительно большим успехом выращивать потомство. Так, птицы откладывают оплодотворённые яйца в специальные сооружения — гнёзда, а не просто в окружающую среду, как поступают более низкоорганизованные животные. Яйца развиваются под влиянием тепла, сообщаемого им телом родителей, и не зависят от случайностей погоды. Родители теми или иными способами защищают гнездо от врагов. Вылупившихся птенцов большинство видов птиц не оставляют на произвол судьбы, а длительное время выкармливают и охраняют, и обучают поиску пищи и защите от врагов. Всё это значительно повышает эффективность размножения в данной группе животных.

Наивысшей степени развития достигает забота о потомстве у млекопитающих животных. Нежно прижимает к себе детёныша самка енота-полос-



Рис. 1.42. Развитие потомства в теле матери у живородки. Аналогичное приспособление наблюдается у многих аквариумных рыб, например у меченосцев и гуппи

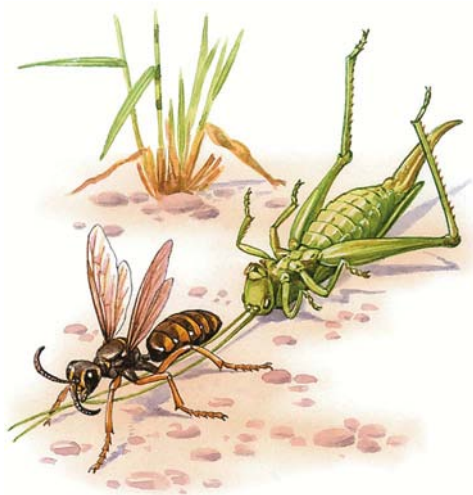


Рис. 1.43. Одиночная оса тащит в своё гнездо парализованного кузнечика: будущая личинка обеспечена пищей



Рис. 1.44. Материнский инстинкт встречается у всех млекопитающих и птиц (за исключением, пожалуй, кукушки, да и она откладывает яйца не в любое чужое гнездо (см. рис. 1.38, А))

куна или тигра (рис. 1.44). Звери не только кормят своё потомство, но и обучают его ловить добычу и избегать опасностей, в том числе охотников.

Таким образом, особи с более совершенными формами заботы о потомстве выживают в большем числе и передают эти черты далее по наследству из поколения в поколение.

1.4.5.3. Физиологические адаптации

Соответствующая форма и окраска тела, целесообразное поведение обеспечивают успех в борьбе за существование только тогда, когда эти признаки сочетаются с приспособленностью процессов жизнедеятельности к условиям обитания, т. е. физиологическими адаптациями. Без таких адаптаций невозможно поддержание устойчивого обмена веществ в организме в постоянно колеблющихся условиях внешней среды. Рассмотрим некоторые примеры.

У наземных амфибий большое количество воды теряется через кожу. Некоторые представители этой группы животных обитают в пустынях и полупустынях. Их выживание в условиях недостатка влаги в этих местообитаниях обеспечивается целым рядом приспособлений. Например, у животных меняется характер активности: она приурочивается к периодам повышенной влажности. В умеренной зоне жабы и лягушки активны ночью и после выпадения дождей. В пустынях же лягушки охотятся только ночью, когда

влага конденсируется на почве и растительности, а днём укрываются в норах грызунов. У пустынных видов амфибий, размножающихся во временных водоёмах, личинки очень быстро развиваются и совершают метаморфоз.

Разнообразные физиологические адаптации к жизни в неблагоприятных условиях выработали птицы и млекопитающие. Многие пустынные животные, например верблюд, перед наступлением засушливого сезона накапливают много жира: при его окислении образуется большое количество воды. Птицы и млекопитающие способны регулировать потери воды с поверхности дыхательных путей. Например, тот же верблюд при нехватке влаги резко сокращает испарение с дыхательных путей. Выделяется очень концентрированная моча.

У человека плохо регулируется солевой обмен, и поэтому он не может долго обходиться без пресной воды. Но рептилии и птицы, проводящие большую часть жизни в море и пьющие морскую воду, приобрели специальные железы, позволяющие им быстро избавляться от избытка солей.

Очень интересны приспособления, развивающиеся у ныряющих животных. Многие из них могут сравнительно долго обходиться без доступа кислорода. Например, тюлени ныряют на глубину 100—200, а иногда и 600 м и находятся под водой 40—60 мин. Что позволяет ластоногим нырять на столь длительный срок? Это прежде всего большое количество особого белка, находящегося в мышцах, — миоглобина. Он способен в 10 раз больше связывать кислород, чем гемоглобин. Кроме того, есть целый ряд приспособлений для гораздо более экономного расходования кислорода в воде, чем при дыхании на поверхности.

Путём естественного отбора возникают и совершенствуются приспособления, облегчающие поиск пищи или партнёра для размножения. Поразительно чувствительны органы химического чувства насекомых. Самцов непарного шелкопряда привлекает запах ароматической железы самки, который они воспринимают с расстояния 3 км. У некоторых бабочек чувствительность рецепторов вкуса в 1000 раз превосходит чувствительность рецепторов человеческого языка. Ночные хищники, например совы, превосходно видят в условиях слабого освещения. У некоторых змей хорошо развита способность к термолокации. Они различают на расстоянии объекты, если разница их температур составляет всего 0,2 °С. Многие животные прекрасно ориентируются в пространстве с помощью эхолокации (летучие мыши, совы, дельфины).

Достаточно известных примеров приспособленности и у растений (см. учебник по ботанике).

1.4.5.4. Относительный характер приспособленности организмов

Строение живых организмов очень тонко приспособлено к условиям существования. Любой видовой признак или свойство, носящие приспособительный характер, полезны только в данной среде, в данных жизненных условиях. Так, все особенности строения и поведения кошки целесообразны для хищника, подстерегающего добычу в засаде: мягкие подушечки на

**Рис. 1.45.** Росянка

пальцах и втягивающиеся когти, делающие походку бесшумной, огромный зрачок и высокая чувствительность сетчатки, позволяющие видеть в условиях очень слабого освещения, тонкий слух и подвижные ушные раковины, дающие возможность точно определять местонахождение жертвы, способность длительное время выжидать появление добычи и совершать молниеносный прыжок, острые зубы, удерживающие и разрывающие жертву. Точно так же организация насекомоядных растений приспособлена к ловле и перевариванию насекомых и мелких позвоночных (рис. 1.45).

Приспособления не появляются в готовом виде, а представляют результат отбора случайных наследственных изменений, повышающих жизнеспособность организмов в конкретных условиях.

Ни один из приспособительных признаков не обеспечивает абсолютной безопасности для их обладателей. Благодаря мимикрии большинство птиц не трогает ос и пчёл, однако есть среди них виды, которые едят и ос, и пчёл, и их подражателей. Ёж и птица-секретарь без вреда поедают ядовитых змей. Панцирь наземных черепах надёжно защищает их от врагов, но хищные птицы поднимают этих рептилий в воздух и разбивают о землю.

Любые приспособления целесообразны только в обычной для вида обстановке. При изменении условий среды они оказываются бесполезными или вредными для организма. Так, постоянный рост резцов у грызунов имеет важное значение, но лишь при питании животных твёрдой пищей. Если крысу держать на мягкой пище, эти зубы, не изнашиваясь, вырастают до таких размеров, что питание вообще становится невозможным.

Таким образом, любая структура и любая функция являются приспособлением к характерной для вида внешней среде или, как говорят современные учёные, «здесь и сейчас». Эволюционные изменения — образование новых популяций и видов, возникновение или исчезновение органов, усложнение организации — обусловлены развитием приспособлений (адаптаций). Целесообразность живой природы — результат исторического развития видов в определённых условиях, поэтому она всегда относительна и имеет временный характер.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Забота о потомстве возникает как способ обеспечения выживания вида на фоне высокой степени развития нервной системы и является одной из форм физиологических адаптаций.
- Любые приспособления, в том числе и обусловленные поведенческими реакциями, относительно и целесообразны только в конкретных условиях существования.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Почему у видов животных, заботящихся о потомстве, небольшое число потомков? Приведите примеры животных с разными стратегиями размножения.
- 2 В чём заключается относительный характер приспособительных признаков у организмов? Подкрепите свой ответ соответствующими примерами.

1.4.6. Видообразование как результат микроэволюции

Приобретение приспособлений отдельными группами организмов может при определённых условиях привести к образованию новых видов. Новый вид может возникнуть из одной популяции или группы смежных популяций, расположенных на периферии ареала вида. Такое видообразование, связанное с пространственной изоляцией, называется аллопатрическим или географическим (от греч. *allos* — другой, иной и *patris* — родина). В других случаях новый вид может возникнуть внутри ареала исходного вида, как бы внутри вида. Это симпатрическое видообразование (от греч. *syn* — вместе и *patris*).

1.4.6.1. Аллопатрическое видообразование

При аллопатрическом видообразовании новые виды могут возникать вследствие распада ареала широко распространённого родительского вида. Примером такого процесса служит возникновение родственных видов ландыша. Исходный вид несколько миллионов лет назад был широко распространён в широколиственных лесах Евразии. В четвертичный период в связи с сокращением их площади единый ареал вида был разорван на несколько самостоятельных частей. В результате ландыш сохранился лишь на территориях, избежавших оледенения (Дальний Восток, Закавказье, Южная Европа). К настоящему времени ландыш, переживший оледенение на юге Европы, вторично широко распространился по всей лес-

ной зоне, образовав новый вид, более крупный и с широким венчиком, а на Дальнем Востоке — вид с красными черешками и восковым налётом на листьях.

В мире животных аллопатрическое видообразование можно наблюдать у различных **кольцевых видов**. Представители такого вида обитают вокруг гор, водоёмов и т. д. При этом соседние популяции скрещиваются между собой, поэтому незначительно различаются, а крайние формы различаются значительно и не скрещиваются. Пример кольцевого вида — безлёгочная саламандра *Ensatina eschscholtzii*, обитающая на склонах гор близ Тихоокеанского побережья Северной Америки. В зависимости от района обитания

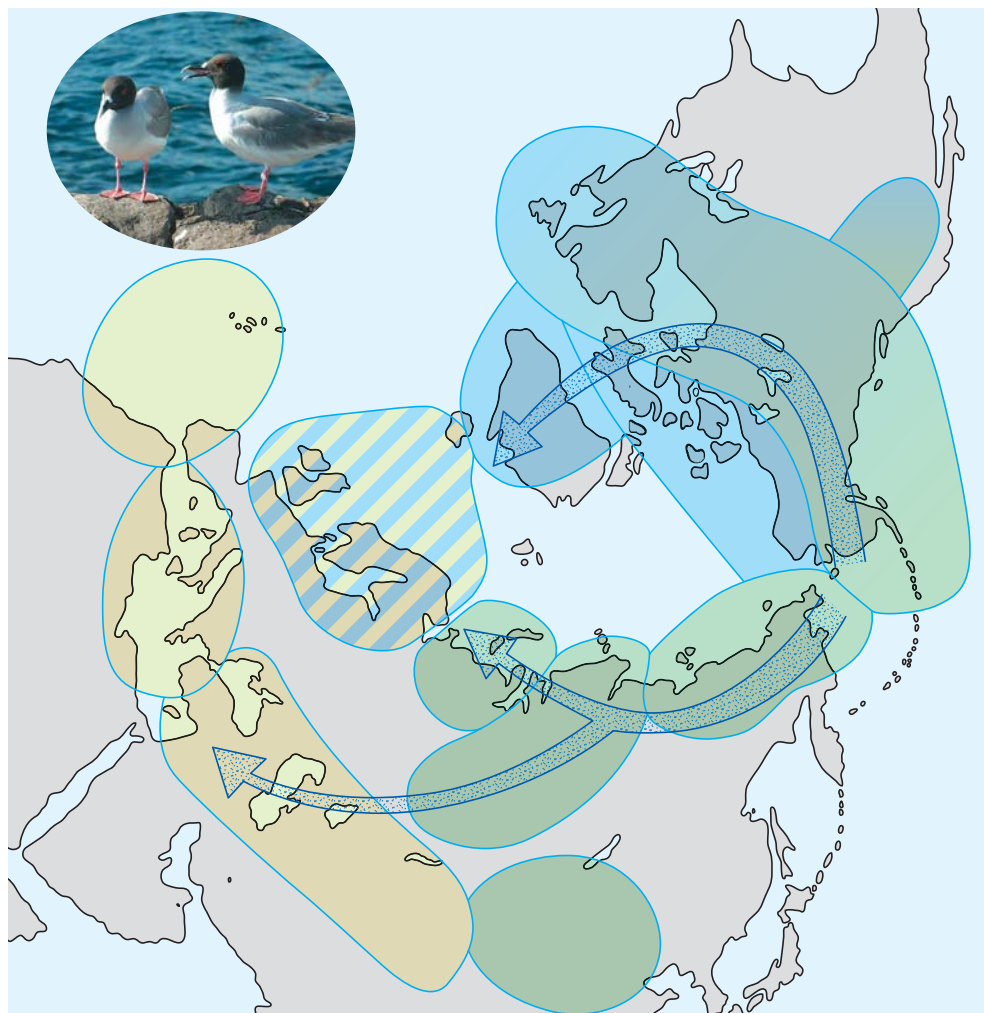


Рис. 1.46. Видообразование у чаек в результате расселения (аллопатрическое видообразование)

вокруг гор саламандры образуют различные формы, постепенно изменяющие свои морфологические и экологические характеристики. Крайние формы *Ensatina eschscholtzii eschscholtzii* и *Ensatina eschscholtzii klauberi*, первая из которых имеет красноватую окраску, а вторая — чёрно-белую, сосуществуют в узкой зоне гор на юге Калифорнии, однако между собой не скрещиваются.

Ещё один классический пример — серебристая чайка и клуша, встречающиеся в Англии, где их признали разными видами. Но при этом между ними существует цепочка гибридных популяций, идущая вокруг Северного полюса (рис. 1.46).

Аллопатрическое видообразование всегда протекает сравнительно медленно, на протяжении сотен тысяч поколений. Именно за такие длительные промежутки времени в изолированных частях ареала вида вырабатываются те биологические особенности, которые приводят к репродуктивной самостоятельности и изоляции даже при разрушении первичной изолирующей преграды.

1.4.6.2. Симпатрическое видообразование

Симпатрическое видообразование может протекать несколькими способами. Один из них — возникновение новых видов при быстром изменении кариотипа путём **полиплоидизации**. Известны группы близких видов, обычно растений, с кратным числом хромосомных наборов. Так, в роде хризантем все виды имеют число хромосом, кратное 9: 18, 27, 36, 45, ..., 90. В родах табака и картофеля основное, исходное количество хромосом в кариотипе — 12, но имеются виды с 24, 48, 72 хромосомами. В таких случаях можно предположить, что видообразование шло путём полиплоидизации основного хромосомного набора предковой группы. Подобные процессы хорошо воспроизводятся в эксперименте задержкой расхождения хромосом в мейозе, воздействием специальных веществ, разрушающих нити веретена деления во время метафазы, например колхицином.

Другой способ симпатрического видообразования — **гибридизация** с последующим удвоением числа хромосом. Сейчас известно немало видов, гибридогенное происхождение и характер генома которых может считаться экспериментально доказанным. Например, культурная слива с $2n = 48$ возникла путём гибридизации тёрна ($2n = 16$) с алычой ($2n = 8$) с последующим удвоением числа хромосом (рис. 1.47).

Третий способ симпатрического видообразования — возникновение репродуктивной изоляции особей внутри первоначально единой популяции в результате фрагментации или слияния хромосом и других **хромосомных перестроек**. Этот способ распространён как у растений, так и у животных (например, среди плодовых мушек рода Дрозофила).

Яблонные мухи пёстрокрылки являются примером симпатрического видообразования в результате **изменения экологической обстановки**. Первоначально вид обитал в восточной части США. До появления европейцев

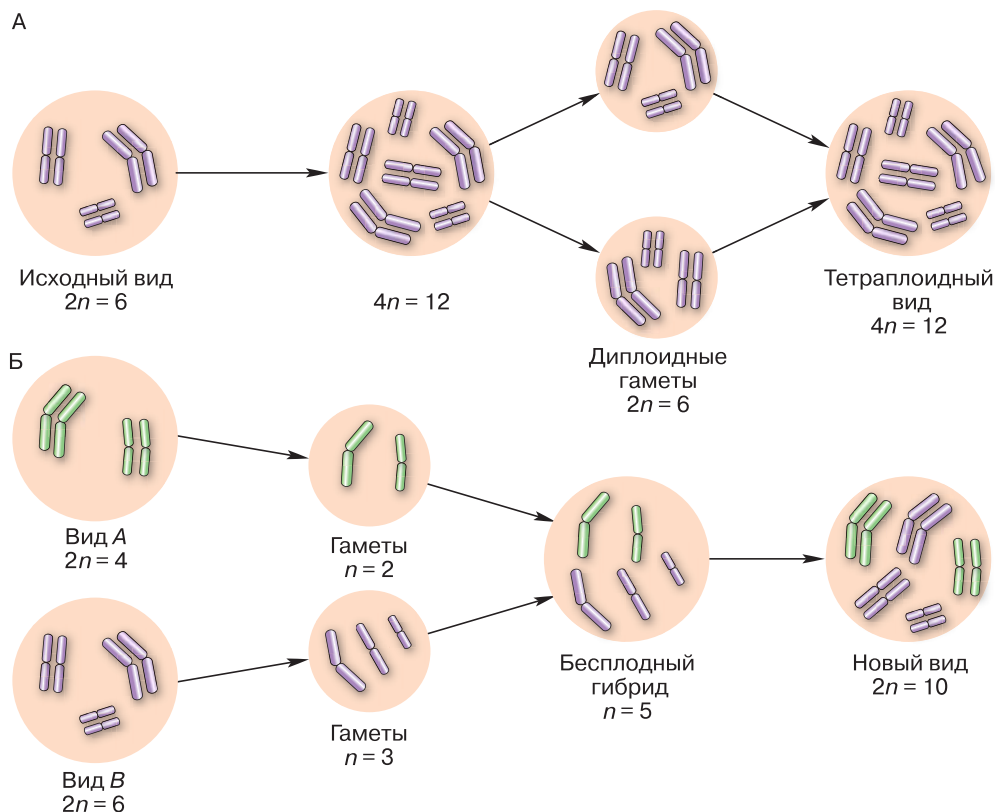


Рис. 1.47. Схема симпатрического видообразования: А — путём полиплоидизации; Б — в результате гибридизации и последующей полиплоидизации

личинки этих мух развивались только в плодах боярышника, однако с завозом в Америку яблонь для них открылась новая экологическая ниша. За полтора века наблюдений расы пёстрокрылок очень сильно разошлись. Они почти не скрещиваются друг с другом. Яблоневая раса спаривается почти исключительно на яблонях, а боярышниковая — на боярышнике, что, учитывая разное время созревания плодов, приводит к репродуктивной изоляции. У пёстрокрылок известно ещё несколько видов-двойников, которые живут на разных видах растений. Предположительно видообразование у них протекало именно по описанной схеме.

Сходная картина наблюдается и у цихлид — рыб, населяющих различные озёра Африки (рис. 1.48).

Особенностью симпатрического видообразования является то, что оно приводит к возникновению новых видов, всегда морфологически близких к исходному виду. Лишь в случае гибридогенного возникновения видов появляется новая видовая форма, отличная от каждой из родительских.

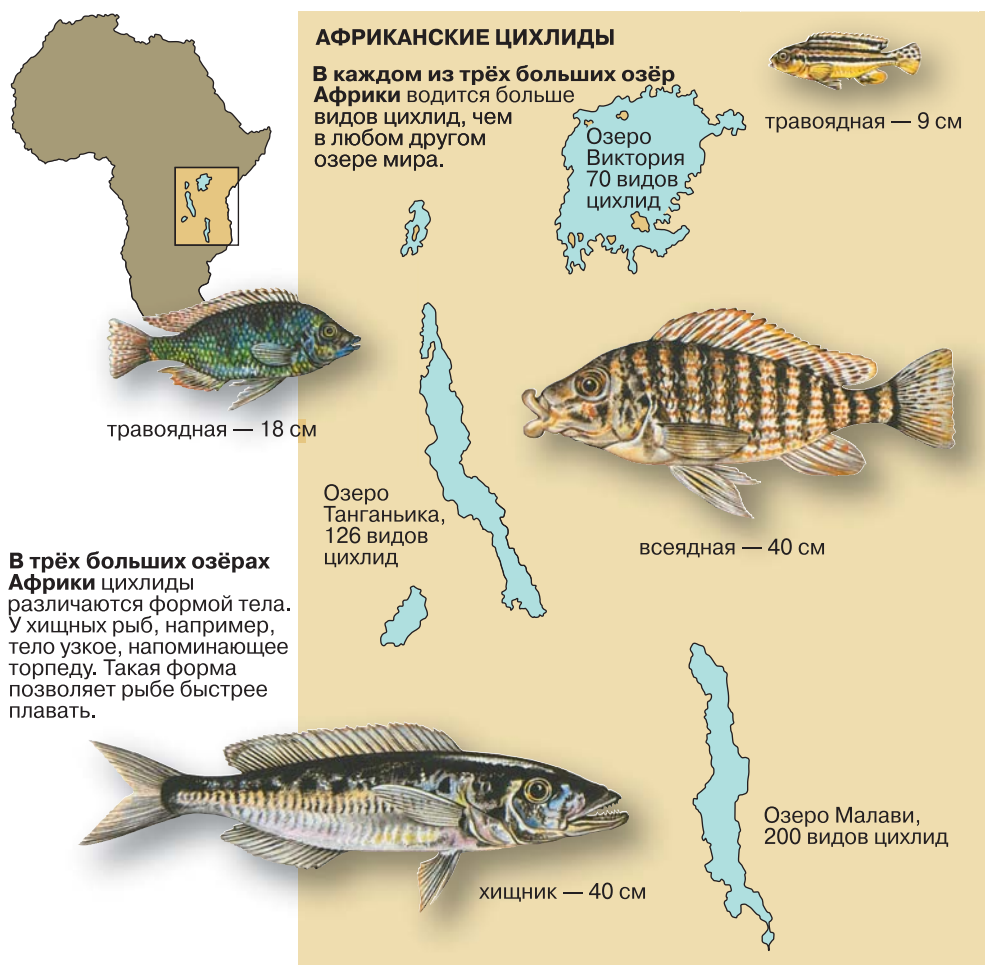


Рис. 1.48. Видообразование у цихлид в результате приспособления к различным источникам питания (симпатрическое видообразование)

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Возникновение новых видов происходит в результате действия естественного отбора при изменении условий существования на фоне громадного разнообразия генотипов особей и генофондов популяций.
- При географическом видообразовании новые виды возникают на краях ареала исходного вида, где популяции подвергаются различному направлению давления отбора.
- Симпатрическое видообразование связано, как правило, с крупными хромосомными перестройками.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что такое физиологические адаптации?
- 2 Приведите примеры функциональных приспособительных изменений.
- 3 Каким образом осуществляется приспособление к отсутствию воды у обитателей пустынь?
- 4 Как возникают физиологические адаптации и что лежит в их основе?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Почему в природе существует естественный отбор?
- 2 Каким путём осуществляется дивергенция видов? Что служит движущей силой изменения видов?
- 3 Что является материалом для естественного отбора?

Обзор пройденного материала главы 1**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Под эволюцией живого мира понимают закономерный процесс исторического развития живой природы с момента самого возникновения жизни на нашей планете до настоящего времени.

Учёные предполагают, что современная флора и фауна насчитывает около 4,5 млн видов организмов. Кроме того, подсчёты показали, что за всю историю Земли на ней обитало не меньше 1 млрд видов живых организмов.

Первая попытка систематизировать и обобщить накопленные знания о растениях и животных и их жизнедеятельности была осуществлена Аристотелем.

На протяжении XVI—XVII вв. велась работа по описанию животных и растений, их систематизации. Большой вклад в создание системы природы внёс выдающийся шведский естествоиспытатель Карл Линней.

Естественная система отражает происхождение животных и растений и основана на их родстве и сходстве по совокупности существенных черт строения.

Учёным, создавшим первую эволюционную теорию, был выдающийся французский естествоиспытатель Ж.-Б. Ламарк.

В основу эволюционной теории Ламарка положено представление о развитии, постепенном и медленном, от простого к сложному, и о роли внешней среды в преобразовании организмов. Таким образом, в анализ биологических явлений учёный включает два новых фактора. Это, во-первых, стремление организмов к совершенствованию, а во-вторых, прямое влияние внешней среды и наследование признаков, приобретённых в течение жизни организма.

Изучение методов селекции позволило Дарвину сформулировать принцип искусственного отбора, с помощью которого можно объяснить не только причину совершенствования форм, но и их многообразие.

Дарвин показал, что у представителей диких видов животных и растений индивидуальная изменчивость представлена очень широко.

Дарвин пришёл к выводу о том, что в природе любой вид животных и растений стремится к размножению в геометрической прогрессии. В то же время число взрослых особей каждого вида остаётся относительно постоянным. Следовательно, в природе происходит непрерывная борьба за существование.

Дарвин выделил три основные формы борьбы за существование: межвидовую, внутривидовую и борьбу с неблагоприятными условиями среды.

В природе происходят процессы избирательного уничтожения одних особей и преимущественного размножения других — явление, названное Дарвином естественным отбором или выживанием наиболее приспособленных.

Видом называется совокупность особей, сходных по строению, имеющих общее происхождение, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство. Все особи одного вида имеют одинаковый кариотип, сходное поведение и занимают определённый ареал.

Популяция — это совокупность особей данного вида, занимающих определённый участок территории внутри ареала вида, свободно скрещивающихся между собой и частично или полностью изолированных от других популяций.

Мутационный процесс — постоянно действующий источник наследственной изменчивости, источник резерва наследственной изменчивости популяций.

В популяциях происходит ряд процессов, которые приводят к ненаправленному случайному изменению частоты генов.

Факторами естественного отбора служат условия внешней среды: в зависимости от этих условий отбор действует в разных направлениях и приводит к неодинаковым эволюционным результатам. Различают несколько форм естественного отбора.

В понятие «приспособленность вида» входят не только внешние признаки, но и соответствие строения внутренних органов выполняемым ими функциям.

Приобретение приспособлений отдельными группами организмов может при определённых условиях привести к образованию новых видов.

Биологическая эволюция является твёрдо установленным фактом, однако для её осознания необходимо достаточно подробное знакомство с основами биологических, да и естественных наук в целом.

ВАША БУДУЩАЯ ПРОФЕССИЯ

Биологи изучают все аспекты жизни, в частности структуру, функционирование, рост, происхождение, эволюцию и распределение живых организмов на Земле. Они классифицируют и описывают живые существа, происхождение видов, их взаимодействие между собой и с окружающей средой.

Эволюционный биолог — это специалист, который исследует общие свойства и закономерности развития живых организмов, изучает видовое многообразие растений. Он собирает тематический материал, исследует его, организует проведение экспериментов и разрабатывает

технологии практического применения полученных результатов. Его работа зависит от специализации: например, зоолог изучает особенности физиологии и анатомии животных, закономерности их развития и особенности поведения, многообразие видов, типов и т. п.

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

1. Почему естественный отбор называют движущей силой эволюции?
2. К какому состоянию приводит популяцию длительно действующий стабилизирующий отбор?
3. Почему понятие «адаптация» относят не только к отдельно взятой особи, но и к популяции или виду в целом?

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

1. Приведите примеры различных приспособлений у растений и животных на разных уровнях организации.
2. Какую роль играет изоляция популяций в процессе видообразования? Как это можно использовать в селекционной практике?
3. К каким эволюционно значимым результатам приводит процесс видообразования?

ЗАДАНИЯ

1. Расскажите о критериях вида. Какие критерии вида вы считаете наиболее важными для их определения?
2. Опишите генетические механизмы, лежащие в основе видообразования.
3. Приведите примеры симпатрического и аллопатрического видообразования. Какие примеры свидетельствуют об их реальном существовании?

Макроэволюция. Биологические последствия приобретения приспособлений

В принципе анализ процессов макроэволюции может быть проведён, исходя из понятия микроэволюции.

А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов



После знакомства с микроэволюционными процессами, приводящими к возникновению новых видов, рассмотрим основные эволюционные явления на надвидовом — макроэволюционном уровне. Огромны масштабы макроэволюционных преобразований живой природы, возникновение крупных систематических групп — типов, классов, отрядов — охватывает десятки и сотни миллионов лет.

Приобретение популяциями и видами разнообразных приспособлений способствует не только выживанию их в какой-то определённой среде. Новые признаки и свойства могут стать причиной освоения популяцией новых мест обитания, новых источников питания и т. д. В этом случае конкуренция с родственными организмами резко ослаблена или отсутствует. Это приводит к вспышке размножения и широкому расселению вида, что, в свою очередь, способствует формированию многочисленных популяций, каждая из которых оказывается в несколько различных условиях и подвергается неодинаково направленному действию естественного отбора.

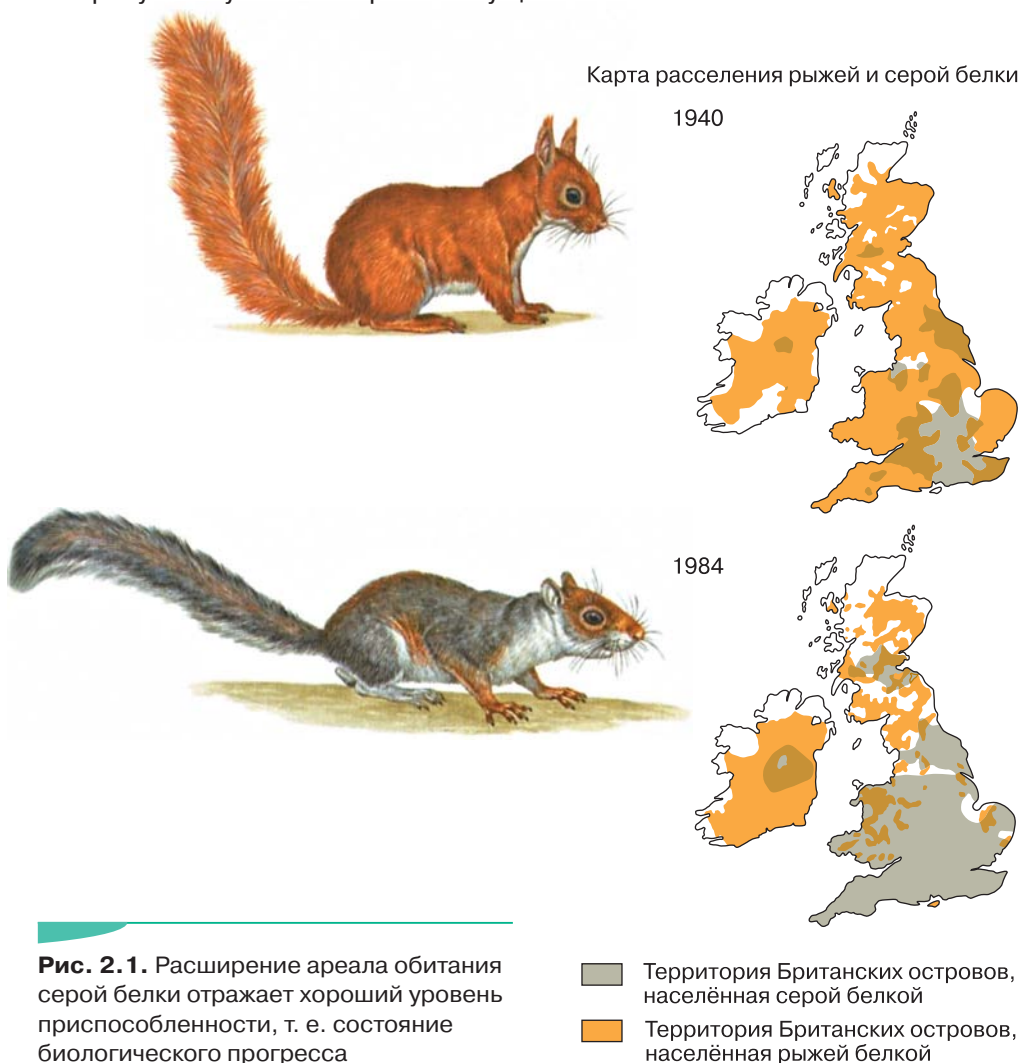
2.1.

Главные направления биологической эволюции

Существуют два возможных направления эволюционного процесса: биологический прогресс и биологический регресс.

Биологический прогресс. Генетическое разнообразие популяций служит основой для формирования новых, иногда многочисленных близкородственных видов. Показатель *биологического прогресса* группы организмов — её высокая численность, широкий ареал и большое количество подчинённых систематических групп (рис. 2.1). Систематическая группа (вид, род, семейство и т. д.) находится в состоянии процветания, если в неё входит значительное число дочерних форм. Например, внутри отряда всегда есть семейства, очень многочисленные по числу входящих в них родов. Внутри семейства отдельные роды отличаются по числу входящих в них видов.

Таким образом, биологический прогресс — процветание той или иной систематической группы организмов, отражающее достаточный уровень приспособленности группы к условиям существования — представляет собой результат успеха в борьбе за существование.



Биологический регресс. Отсутствие необходимого уровня приспособленности, т. е. угнетённое состояние таксона, приводит к биологическому регрессу — уменьшению численности, сокращению ареала, снижению числа систематических групп более низкого ранга (см. рис. 2.1). Биологический регресс чреват опасностью вымирания. Например, вследствие усиленного отстрела резко сократилась численность и сузился ареал распространения соболя. На грани вымирания находится уссурийский тигр.

Однако деятельность человека стала значимой в истории развития жизни на Земле лишь последние 10—20 тыс. лет. Крупные эпохи вымирания групп живых организмов сопровождали всю историю нашей планеты. Их причины кроются в развитии Земли как космического тела. Время от времени происходит смена полярности, когда Северный и Южный полюсы меняются местами; усиливаются горообразовательные процессы, ведущие к поднятию и опусканию суши; ускоряется дрейф континентов. Наконец, известны случаи падения на Землю крупных метеоритов и астероидов, которые, так же как и другие события, приводят к глобальным климатическим изменениям. К подобным всемирным и быстрым преобразованиям условий обитания живые организмы не успевают выработать соответствующие приспособления и вымирают. Известно, что глобальные геологические, климатические и экологические катастрофы служат временными границами эр и периодов в развитии нашей планеты. В эти периоды, как следует из анализа ископаемых остатков, вымирает до 98% из существовавших ранее видов растений и животных. Кстати, по-видимому, одна из первых в истории планеты экологических катастроф связана с появлением на Земле свободного кислорода в результате деятельности ранних фотосинтезирующих организмов более 2—2,5 млрд лет назад. В результате этого заселявшие ранее Землю анаэробные прокариоты практически полностью вымерли.

После массовых вымираний, связанных с вышеперечисленными и некоторыми другими причинами, наблюдались расселение организмов на освободившиеся территории и всплеск видообразования.

Эволюция крупных систематических групп (надвидового ранга) носит название *макроэволюции*.



2.2. Пути достижения биологического прогресса — главные направления прогрессивной эволюции

Ч. Дарвин считал, что естественный отбор не обязательно ведёт к повышению организации. Адаптации, благоприятные для выживания популяции, могут быть направлены на специализацию (приобретение приспособлений для освоения новых мест обитания или новых источников питания), в результате которой группа организмов избавляется от конкуренции. Приобретение специальных приспособлений к ограниченным условиям

среды не меняет уровня организации, но способствует процветанию вида. В некоторых случаях оказывается выгодным переход к сидячему образу жизни, пассивному питанию или паразитизму. Такие адаптации, как правило, ведут к упрощению организации, утрате органов активной жизни.

В соответствии с разнообразными преобразованиями строения организмов в процессе эволюции выделяют три главных пути прогрессивной эволюции: арогенез (морфофизиологический прогресс), аллогенез и катагенез (общая дегенерация). Эти направления выявил и описал А. Н. Северцов.

2.2.1. Арогенез

Арогенез (от греч. *aio* — поднимаю и *genesis* — развитие), или морфофизиологический прогресс, — эволюционный путь, сопровождающийся приобретением крупных изменений в строении — ароморфозов. *Ароморфоз* (от греч. *aio* и *morpha* — образец, форма) означает усложнение организации на любом уровне — от молекулярного до анатомического, поднятие её на более высокий уровень. Изменения в строении животных в результате возникновения ароморфозов не являются приспособлениями к каким-либо специальным условиям среды. Они носят общий характер и дают возможность расширить использование условий внешней среды (новые источники пищи, новые места, а иногда и среды обитания).

Ароморфозы обеспечивают переход от пассивного питания к активному (появление челюстей у позвоночных), повышают подвижность животных (появление скелета как места прикрепления мышц, замена пластов гладкой мускулатуры у червей на пучки поперечнополосатой у членистоногих), дыхательную функцию (возникновение жабр и лёгких), снабжение тканей кислородом (появление сердца у рыб и разделение артериального и венозного кровотока у птиц и млекопитающих). Все эти изменения, не будучи частными приспособлениями к конкретным условиям среды, повышают интенсивность жизнедеятельности животных, их *энергетический потенциал* и уменьшают их зависимость от условий существования. Общая черта ароморфозов заключается в том, что они сохраняются при дальнейшей эволюции и приводят к возникновению новых крупных систематических групп — классов, типов, некоторых отрядов.

2.2.2. Аллогенез

Аллогенез (от греч. *alios* — иной, другой и *genesis*) — эволюционный путь, сопровождающийся приобретением идиоадаптаций, или алломорфозов. *Идиоадаптация* (от греч. *idios* — особенность и лат. *adaptatio* — приспособление) — приспособление к специальным условиям среды, полезное в борьбе за существование, но не изменяющее уровня организации. Поскольку каждый вид организмов обитает в определённых местах, у него вырабатываются приспособления именно к этим условиям. К идиоадаптациям относятся покровительственная окраска животных, колючки растений,

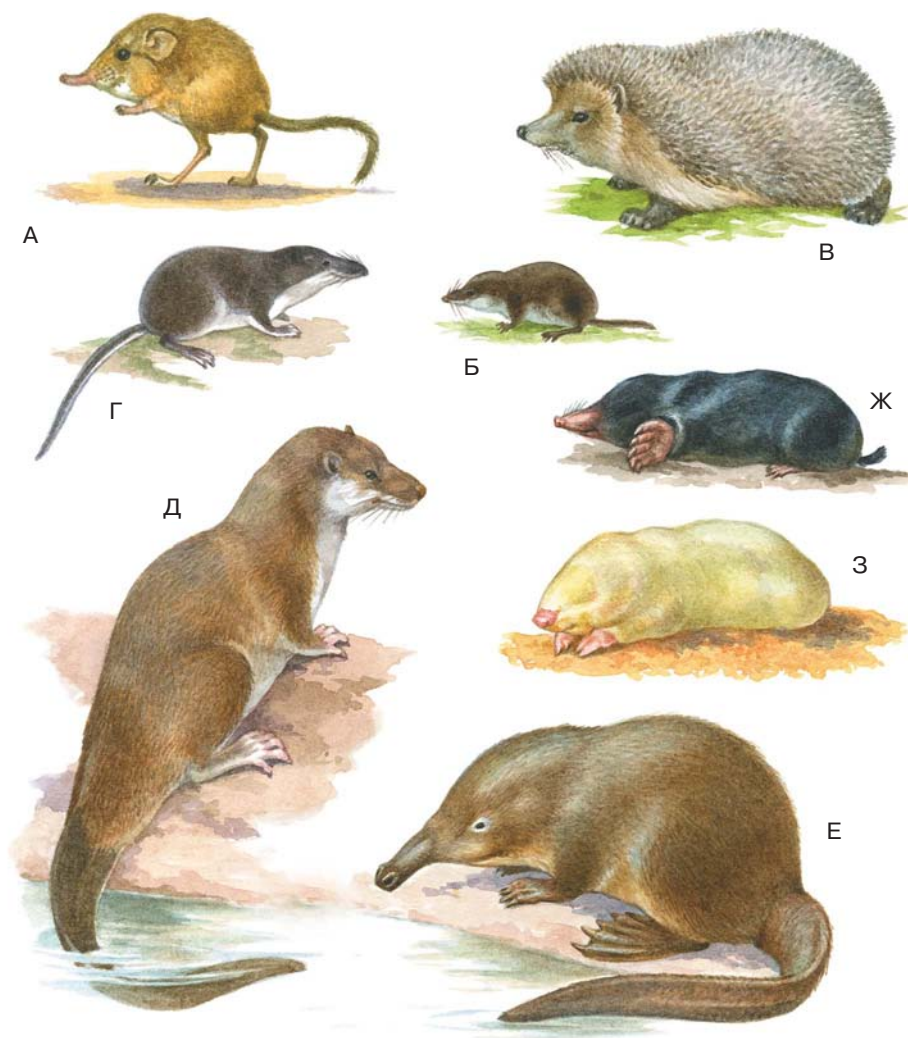


Рис. 2.2. Экологическая дифференциация (идиоадаптация) в отряде насекомоядных млекопитающих. Наземные формы: А — прыгунчик; Б — землеройка; В — ёж; земноводные формы: Г — кутора; Д — выдровая землеройка, Е — выхухоль; роющие формы: Ж — крот; З — златокрот

плоская форма тела скатов и камбалы. В зависимости от условий обитания и образа жизни многочисленным преобразованиям подвергается пятипалая конечность млекопитающих. На рисунке 2.2 рассмотрите, как разнообразны формы конечности внутри одного отряда насекомоядных. Ведь прыгунчик, крот и выхухоль занимают разные среды обитания, что отражается в чертах их организации. Точно так же различия внешнего вида и деталей строения животных, относящихся к отряду парнокопытных (рис. 2.3), вызваны неодинаковыми условиями их существования.

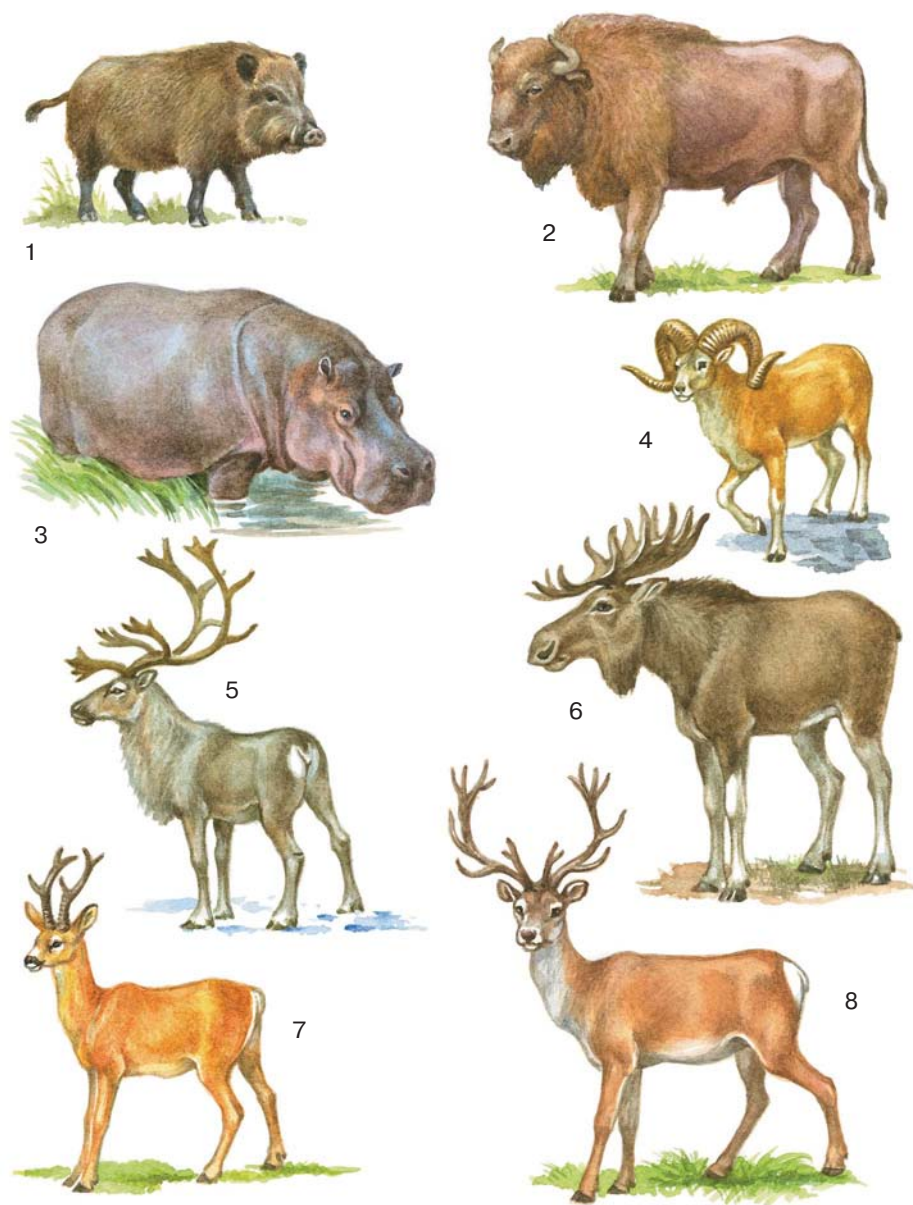


Рис. 2.3. Экологическая дифференциация (идиоадаптация) в отряде парнокопытных млекопитающих: 1 — кабан; 2 — зубр; 3 — бегемот; 4 — баран аргали; 5 — северный олень; 6 — лось; 7 — косуля; 8 — европейский олень

После возникновения ароморфозов, и особенно при выходе группы животных в новую среду обитания, начинается приспособление отдельных популяций к условиям существования именно путём приобретения идиоадап-

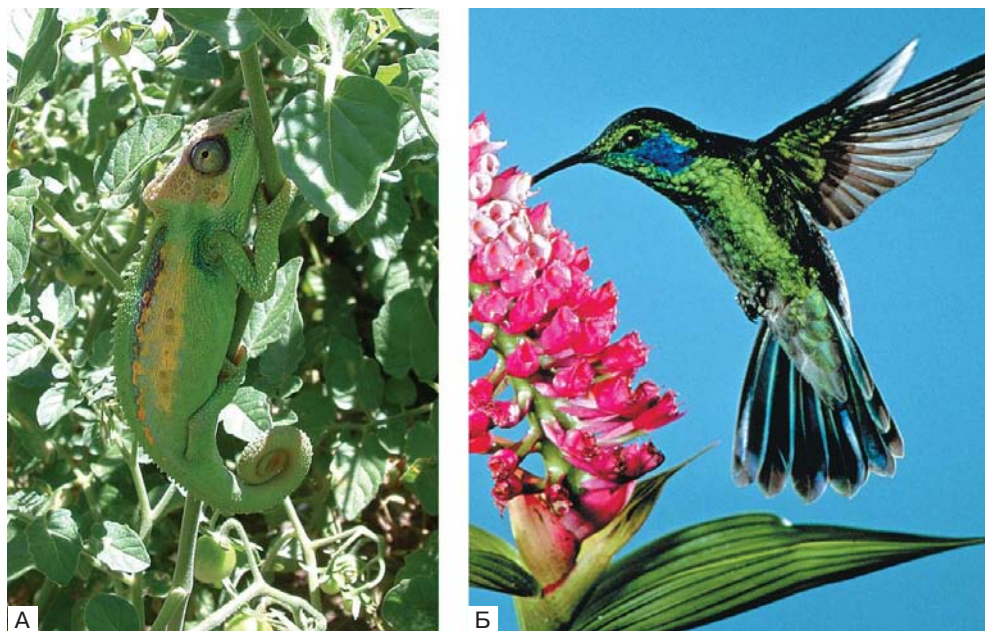


Рис. 2.4. Пример узкого приспособления-специализации: А — хамелеон обладает хватательной конечностью, позволяющей ему обитать на ветвях; Б — колибри имеет клюв, приспособленный для питания исключительно цветочным нектаром

таций. Так, класс птиц в процессе расселения по суше дал громадное разнообразие форм. Рассматривая строение колибри, воробьёв, канареек, орлов, чаек, попугаев, пеликанов, пингвинов, можно прийти к выводу, что все различия между ними сводятся к частным приспособлениям, хотя основные черты строения у всех птиц одинаковы.

Крайняя степень приспособления к очень ограниченным условиям существования носит название *специализации*. Переход к питанию только одним видом пищи, обитание в очень однородной и постоянной среде (например, в пещерах) приводят к тому, что вне этих условий организмы жить не могут. Таковы колибри, питающиеся только нектаром тропических цветов, муравьеды, специализация которых тоже обусловлена ограниченным родом пищи, хамелеоны, приспособленные к обитанию на тонких ветвях деревьев (рис. 2.4).

Специализация затрудняет эволюционные возможности группы и при быстром изменении условий среды приводит к её вымиранию.

2.2.3. Катагенез

Биологическое процветание достигается и упрощением организации. *Катагенез* (от греч. kata — движение вниз и genesis), или морфофизиологический регресс, — эволюционный путь, сопровождающийся упро-

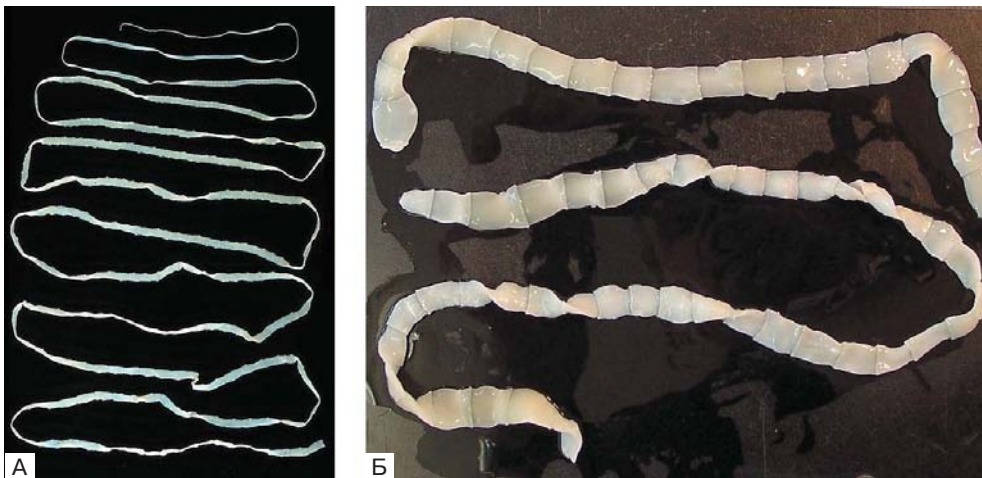


Рис. 2.5. Редукция органов чувств и пищеварительной системы у ленточных червей: А — общий вид; Б — фрагмент сегментированного тела паразита

щением организации. Упрощение организации ведёт к исчезновению органов активной жизни и носит название *дегенерации*. Общая дегенерация как путь биологического прогресса наблюдается у многих форм и связана главным образом с переходом к паразитическому или сидячему образу жизни. Виды, перешедшие к паразитизму, резко отличаются от свободноживущих форм. У растений-паразитов атрофируются корни, листья. Нередко утрачивается способность к фотосинтезу, и такое растение целиком существует за счёт хозяина. У животных, например ленточных червей (рис. 2.5), редуцируются органы чувств, пищеварительная система, упрощается строение нервной системы. Взамен у них развиваются различные частные приспособления — присоски, прицепки, способствующие удержанию в кишечнике хозяина. Наиболее прогрессивного развития у паразитов достигает половая система. На рисунке 2.6 изображена самка сакулины — одного из паразитических ракообразных, полностью утратившая признаки членистоногих и выполняющая только одну функцию — образование яиц. Плодовитость паразитов чрезвычайно велика. Бычий цепень, паразитирующий в кишечнике человека, за свою жизнь (18—20 лет) производит около 11 млрд яиц. Защищённость телом хозяина и высокая плодовитость обес-



Рис. 2.6. Общий вид самки ракообразного — внутреннего паразита морских звёзд. Её тело представлено практически одним яичником

печивают паразитическим червям широкое распространение и биологическое процветание.

Переход к сидячему образу жизни и пассивному питанию (например, асцидия) сопровождается упрощением организации и устранением от конкуренции с другими видами, что также ведёт к сохранению вида.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Биологическое состояние группы организмов характеризуется численностью особей, шириной ареала обитания и количеством входящих в неё систематических групп более низкого ранга.
- Биологический прогресс может сопровождаться как повышением, так и понижением уровня организации, но всегда характеризует высокую степень приспособленности организмов.
- Биологический регресс отражает снижение уровня приспособленности к существующим условиям среды.
- Часто на путь биологического регресса группу организмов приводят глобальные геологические, климатические и экологические катастрофы.
- В последние 10—20 тыс. лет ведущим фактором развития природы является антропогенный фактор.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что такое биологический прогресс?
- 2 Какие существуют основные направления эволюции организмов?
- 3 Какой путь прогрессивной эволюции поднимает группу организмов на более высокую ступень организации?
- 4 Приведите примеры ароморфозов.
- 5 Что такое идиоадаптация?
- 6 Как изменяется строение организмов при переходе к паразитизму?



2.3. Основные закономерности биологической эволюции

Морфофункциональные особенности организации живых организмов определяются двумя факторами — физиологическими потребностями и конкретными условиями среды обитания. При всём разнообразии частных особенностей строения и приспособлений организмов к внешней среде можно выделить некоторые общие закономерности эволюционного процесса.

2.3.1. Закономерности эволюционного процесса

Данные систематики, палеонтологии, сравнительной анатомии, молекулярной генетики и других биологических дисциплин дают возможность с большой точностью восстановить ход эволюционного процесса на надвидовом уровне. Среди форм эволюции групп живых организмов можно выделить: дивергенцию, конвергенцию и параллелизм.

Дивергенция. Появление новых форм всегда связано с приспособлением к местным географическим и экологическим условиям существования. Так, класс млекопитающих состоит из многочисленных отрядов, представители которых отличаются родом потребляемой пищи, особенностями мест обитания, т. е. условиями существования (Насекомоядные, Рукокрылые, Хищные, Парнокопытные, Китообразные и т. д.). Каждый из этих отрядов включает подотряды и семейства, которые, в свою очередь, характеризуются не только специфическими морфологическими признаками, но и экологическими особенностями (бегающие, скачущие, лазающие, роющие, плавающие формы). Внутри любого семейства виды и роды различаются образом жизни, объектами питания и т. п. Как указывал Дарвин, в основе всего эволюционного процесса лежит дивергенция. Дивергировать могут не только виды, но и роды, семейства, отряды. Дивергенция любого масштаба есть результат действия естественного отбора в форме группового отбора (сохраняются или устраняются виды, роды, семейства и т. д.). Групповой отбор также основан на индивидуальном отборе внутри популяции. Вымирание вида происходит за счёт гибели отдельных особей.

Своеобразие морфологических особенностей организмов, приобретаемых в процессе дивергенции, имеет некоторую единую основу в виде генофонда родственных форм. Конечности всех млекопитающих хотя и отличаются друг от друга, но имеют единый план строения и представляют собой пятипалую конечность (рис. 2.7). Поэтому органы, соответствующие друг



Рис. 2.7. Гомологичные органы: конечности разных групп позвоночных животных:
 ■ — плечо, ■ — предплечье, ■ — запястье, ■ — пясть, ■ — фаланги пальцев

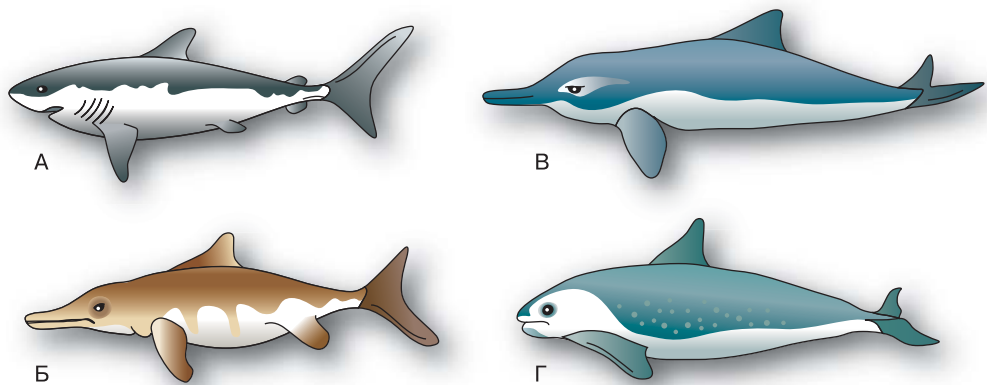


Рис. 2.8. Конвергенция: сходство формы тела и конечностей у быстро плавающих животных: акулы (А), ихтиозавра (Б) и дельфинов (В, Г)

другу по строению и имеющие общее происхождение независимо от выполняемой ими функции, называют *гомологичными*. Примерами гомологичных органов у растений являются усики у гороха, иглы барбариса, колючки кактуса (всё это видоизменённые листья). Корневище ландыша, клубни картофеля, луковица репчатого лука (подземные побеги) тоже гомологичны.

Конвергенция. В одинаковых условиях существования животные, относящиеся к разным систематическим группам, могут приобретать сходное строение. Такое сходство строения возникает при сходстве функций и ограничивается лишь органами, непосредственно связанными с одними и теми же факторами среды. Внешне очень похожи хамелеоны и лазающие агамы, обитающие на ветвях деревьев, хотя относятся к разным подотрядам.

У позвоночных животных конвергентное сходство обнаруживают конечности и форма тела морских рептилий и млекопитающих (рис. 2.8). Одинаковый образ жизни сумчатых и плацентарных млекопитающих привёл их независимо друг от друга к подобию многих черт строения. Сходны европейский крот и сумчатый крот, сумчатый летун и белка-летяга. Сумчатый волк напоминает обыкновенного волка. Однако исторически сложившаяся организация в целом никогда не подвергается конвергенции. Схождение признаков затрагивает в основном лишь те органы, которые непосредственно связаны со сходными условиями среды.

Конвергенция наблюдается и у групп животных, далеко отстоящих друг от друга в систематическом отношении. У организмов, обитающих в воздухе, имеются крылья и другие приспособления для полёта (рис. 2.9, 2.10). Но крылья птицы и летучей мыши — изменённые конечности, а крылья бабочек — это выросты стенки тела.

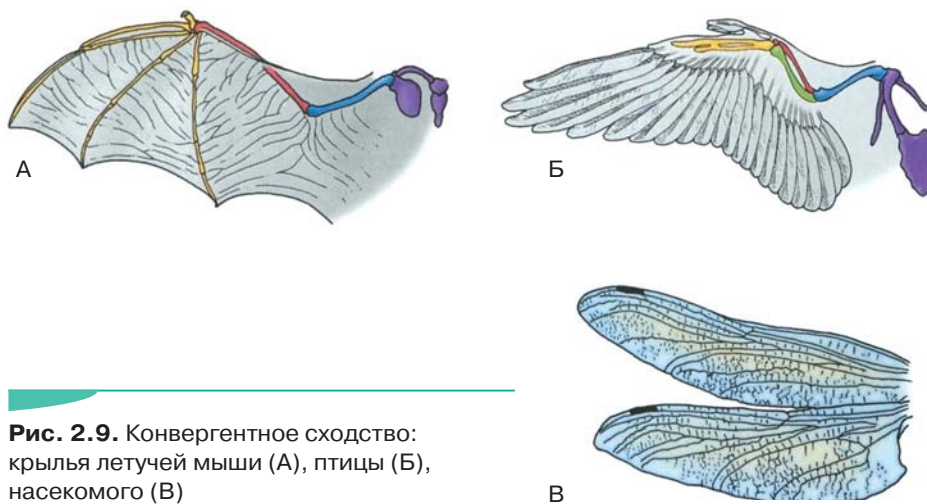


Рис. 2.9. Конвергентное сходство: крылья летучей мыши (А), птицы (Б), насекомого (В)

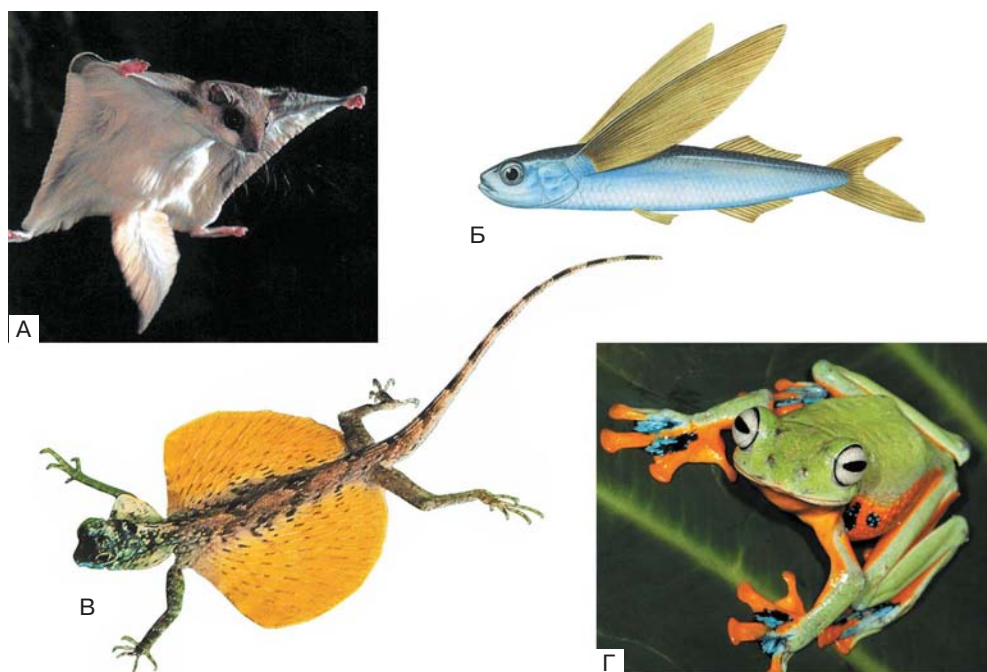


Рис. 2.10. Конвергенция. Развитие приспособлений для парения в воздухе у позвоночных: А — белка-летяга; Б — летучая рыба; В — летающая агама; Г — летающая лягушка

Органы, выполняющие сходные функции, но имеющие принципиально различное строение и происхождение, называют *аналогичными*. Аналогичны жабры рака и рыбы, роющие конечности крота и медведки.

Примеры возникновения конвергентного сходства строения органов в одинаковых условиях среды даёт приспособление неродственных групп животных — членистоногих и позвоночных — к жизни на суше. При освоении суши у членистоногих и позвоночных развивается приспособление к сохранению в теле воды — плотные покровы с водонепроницаемым наружным слоем. Для большинства водных животных характерно выведение продуктов азотного обмена в виде аммиака с большим количеством воды. У наземных животных азот выделяется в виде мочевины и мочевой кислоты, что позволяет максимально сокращать расход воды. Таким образом, в процессе эволюции физиологическое совершенствование неродственных организмов осуществляется сходными путями на базе негомологичных структур.

Параллелизм. Параллелизм представляет собой форму конвергентного развития, свойственного для генетически близких групп организмов. Например, среди млекопитающих китообразные и ластоногие независимо друг от друга перешли к обитанию в водной среде и приобрели сходные приспособления для передвижения в этой среде — ласты. Известное общее сходство имеют неродственные млекопитающие тропического пояса, обитающие на разных континентах в близких климатических условиях (рис. 2.11).

2.3.2. Правила эволюции

Правило необратимости эволюции. К общим правилам эволюции групп организмов относится правило её необратимости. Так, если на каком-то этапе от примитивных амфибий возникли рептилии, то рептилии не могут дать вновь начало амфибиям. Вернувшиеся в воду наземные позвоночные (среди рептилий — ихтиозавры, среди млекопитающих — киты) не стали рыбами. Прошедшая история развития для любой группы организмов не проходит бесследно, и приспособление к среде, в которой когда-то обитали предки, осуществляется уже на другой генетической основе.

Правило происхождения от неспециализированных предков — новые крупные группы берут начало от сравнительно неспециализированных представителей предковых форм. Отсутствие специализации определяет возможность возникновения новых приспособлений принципиально иного характера.

Правило адаптивной радиации. Филогенез любой группы сопровождается разделением группы на ряд отдельных филогенетических стволов, которые расходятся в разных адаптивных направлениях от некоторого исходного состояния.

Правило прогрессирующей специализации. Группа, как правило, в дальнейшем развитии будет идти по пути всё более глубокой приспособленности ко всё более и более узким условиям существования. Крайняя

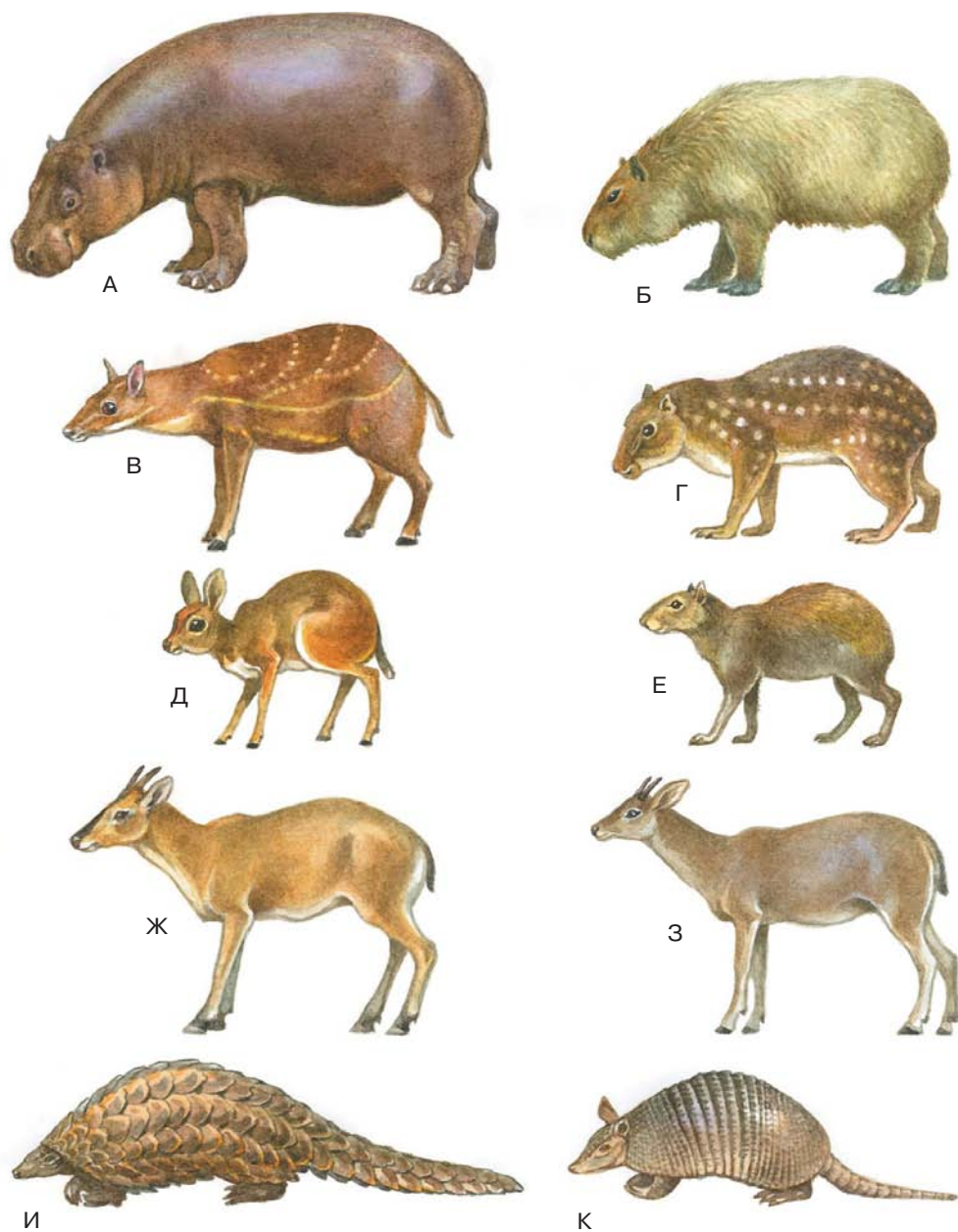


Рис. 2.11. Конвергентное сходство строения тела у неродственных млекопитающих, населяющих дождевые леса Африки (слева) и Южной Америки (справа):

А — карликовый гиппопотам; Б — водосвинка; В — африканский оленёк; Г — пака; Д — карликовая антилопа; Е — агути; Ж — серый дукер; З — мазама; И — панголин; К — гигантский броненосец

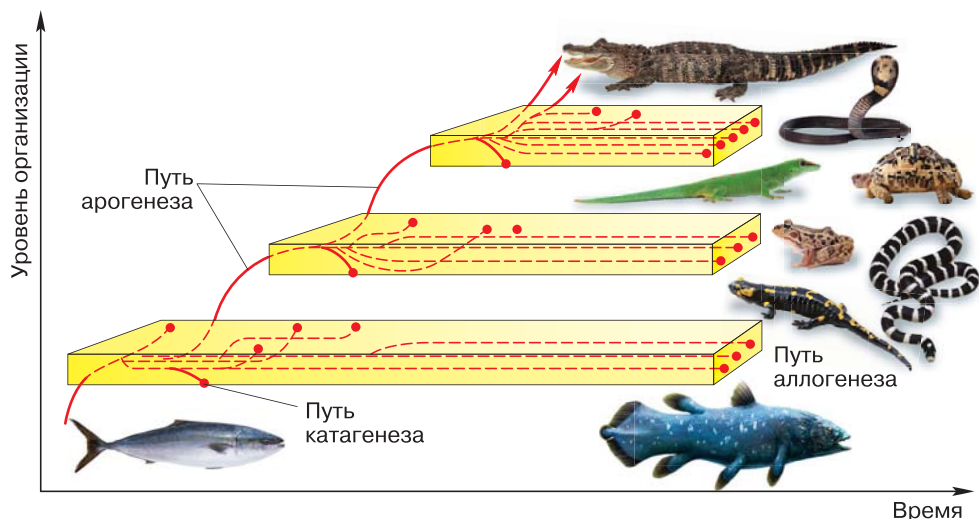


Рис. 2.12. Схема развития группы по путям аллогенеза и катагенеза (слепая) внутри адаптивной зоны и арогенеза — с выходом в новую адаптивную зону

степень приспособленности к конкретным условиям жизни получила название *специализации*.

Правило чередования направленных эволюций. При рассмотрении главных направлений эволюции групп — арогенеза и аллогенеза подчёркивалось регулярное чередование этих типов развития в эволюции основных стволов древа жизни. Такое чередование главных направлений отражает распространённую эволюционную тенденцию в филогенезе — историческом развитии практически всех групп (рис. 2.12).

Таким образом, эволюция представляет собой непрерывный процесс возникновения и развития новых адаптаций, протекающий в течение длительного времени — сотен и тысяч поколений. Одни из вновь возникающих адаптаций оказываются очень частными, и их значение не выходит за пределы узких условий. Другие дают возможность выхода группы в новую адаптивную зону и непременно ведут к быстрому эволюционному развитию групп в новом направлении, к более высокому уровню организации.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Эволюционные преобразования необратимы, и группа организмов не может вернуться к стадии, уже осуществлённой в ряду её предков.
- После возникновения крупных систематических групп на пути арогенеза начинается дивергентная эволюция этой группы путём приобретения идиоадаптаций; возникают многочисленные новые виды.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Раскройте содержание понятий «дивергенция» и «конвергенция».
- 2 Какие органы называют гомологичными; аналогичными?
- 3 Приведите примеры сходства строения органов у неродственных групп животных, обитающих в одинаковых условиях.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 К каким биологическим последствиям приводит приобретение популяциями и видами новых приспособлений?
- 2 В чём отличие морфофизиологического прогресса от биологического?
- 3 В каких направлениях условия жизни влияют на преобразование органов у животных и растений?
- 4 В чём заключается сущность правила необратимости эволюции?

Обзор изученного материала главы 2

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Приобретение популяциями и видами разнообразных приспособлений способствует выживанию их в определённой среде, а также может стать причиной освоения ими новых мест обитания, новых источников питания.

Показателями хорошей приспособленности группы организмов являются её высокая численность, широкий ареал и большое количество подчинённых систематических групп.

Биологический прогресс представляет собой результат успеха в борьбе за существование.

Отсутствие необходимого уровня приспособленности приводит к биологическому регрессу — уменьшению численности, сокращению ареала, снижению числа систематических групп более низкого ранга. Биологический регресс чреват опасностью вымирания. Вымирание крупных систематических групп в прошлом связано с глобальными геологическими, климатическими и экологическими изменениями.

Выделяют три главных направления прогрессивной эволюции, каждое из которых ведёт к биологическому прогрессу: арогенез, или морфофизиологический прогресс, аллогенез и катагенез, или общую дегенерацию.

Ароморфозы обеспечивают переход от пассивного питания к активному, повышают подвижность животных и т. д.

После возникновения ароморфозов, и особенно при выходе группы животных в новую среду обитания, начинается приспособление отдельных популяций к условиям существования путём приобретения идиоадаптаций.

Крайняя степень приспособления к очень ограниченным условиям существования носит название специализации.

Общая дегенерация как путь биологического прогресса наблюдается у многих форм и связана главным образом с переходом к паразитическому или сидячему образу жизни.

Морфофункциональные особенности живых организмов определяются двумя факторами: биологическими потребностями и конкретными условиями среды обитания.

Органы, соответствующие друг другу по строению и имеющие общее происхождение независимо от выполняемой ими функции, называют гомологичными.

Органы, выполняющие сходные функции, но имеющие принципиально различное строение и происхождение, называют аналогичными.

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

1. Какие эволюционные явления лежат в основе процесса дивергенции?
2. О чём может свидетельствовать конвергентное сходство ряда органических форм?
3. Какие доказательства необратимости эволюции можно привести?

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

1. В чём причина появления рудиментов и атавизмов и почему они служат доказательствами процесса эволюции?
2. Каким образом можно использовать палеонтологический материал для доказательства эволюционного процесса?

ЗАДАНИЯ

1. Проанализируйте рисунок 2.12 и объясните, как происходит процесс эволюции организмов и как соотносятся разные направления прогрессивной эволюции.
2. Какие черты строения животных, принадлежащих к различным систематическим группам, свидетельствуют о морфофизиологическом прогрессе; общей дегенерации? Приведите примеры.

Развитие жизни на Земле

Таким образом, из войны природы, из голода и смерти непосредственно вытекает самый высокий результат, какой ум в состоянии себе представить, — образование высших животных.

Ч. Дарвин



Биологическая эволюция продолжается на Земле более 3,5 млрд лет. С момента возникновения первых клеточных организмов, благодаря естественному отбору, появилось бесчисленное множество форм живых организмов. В этой главе вы познакомитесь с подразделением истории нашей планеты на эры и периоды; узнаете, когда и как возникли те или иные группы животных и растений.

Историю Земли принято делить на промежутки времени, границами которых являются крупные геологические события: горообразовательные процессы, поднятия и опускания суши, изменения очертаний материков, уровня океанов. Движения и разломы земной коры сопровождались усиленной вулканической деятельностью, выбросом в атмосферу громадного количества газов и пепла. Понижение прозрачности атмосферы уменьшало количество солнечной радиации, проникающей на Землю, и было одной из причин развития оледенений. Не случайно горообразовательные процессы сопровождались оледенениями. Грандиозные ледниковые щиты, покрывавшие поверхность Земли, значительно изменяли климатические условия и тем самым оказывали глубокое влияние на растительный и животный мир. Одни группы организмов вымирали, другие сохранялись и в межледниковые эпохи достигали расцвета.

В таблице 3.1 приведена геохронологическая шкала с указанием групп животных и растений, существовавших в разные геологические эпохи. Давайте совершим путешествие в глубь веков и познакомимся с обитателями давно ушедших эпох.

Таблица 3.1

Геохронологическая история Земли

Эра (продолжи- тельность, млн лет)	Период (продолжи- тельность, млн лет)	Начало (млн лет назад)	Климат и среда (глобальные геологи- ческие изменения)	Развитие органического мира	
				Мир животных	Мир растений
1	2	3	4	5	6
Архейская, 900		3500	Активная вулкани- ческая деятельность. Анаэробные условия жизни в мелковод- ном древнем море. Развитие кислородсо- держащей атмосферы		Возникновение жизни на Земле. Появление пер- вых клеток — начало биологической эволюции. Следы жизни незначительны. Обнаружены остатки анаэробных автотрофных предшественников синезелёных (цианобактерий), бактерий. Первые строматолиты. Отдельные находки прокариотиче- ских организмов в породах
Протерозой- ская (ранней жизни), 2000		2600 ± ± 100	Поверхность планеты представляла собой голую пустыню. Кли- мат холодный; частые оледенения, особенно обширное в середине протерозоя. В конце эры содержание сво- бодного кислорода в атмосфере до 1%. Активное образова- ние осадочных пород	Возникли все типы бес- позвоночных живот- ных. Широко распро- странены простейшие, кишечнополостные, губки, черви; предки трилобитов и иглоко- жих. Предполагается но — первые предста- вители хордовых — бесчерепные	Распространены пре- имущественно одно- клеточные зелёные водоросли; однокле- точные грибы, первые многоклеточные водо- росли
Палеозойская (древней жизни), 340 ± 10	Кембрий- ский (кембрий), 80 ± 20	570 ± 20	Раннекембрийское оледенение сменяется в начале умеренным влажным, а затем	Расцвет морских бес- позвоночных, из кото- рых 60% находок — трилобиты. Появле-	Дивергентная эволю- ция водорослей; возникновение раз- нообразных

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
			сухим тёплым климатом. Активное наступление моря, сменявшееся его отступлением в конце периода	ние организмов с минерализованным скелетом	многоклеточных форм
	Ордовикский (ордовик), 55 ± 10	490 ± 10	Равномерно умеренный влажный климат с постепенным повышением средней температуры. В начале периода большая часть суши занята морем, затем в связи с интенсивным горообразованием освобождение от воды значительных территорий	Появление первых позвоночных — бесчелюстных. Остатки первых коралловых полипов. Господство трилобитов, иглокожих; возникновение новых классов и вымирание некоторых групп беспозвоночных	Исключительное разнообразие водорослей
	Силурийский (силур), 35 ± 10	435 ± 10	В начале сухой климат, затем влажный с постепенным потеплением. Интенсивное горообразование (Скандинавские горы, Саяны), возникновение первых коралловых рифов	Пышное развитие кораллов и трилобитов. Появляются древнейшие рыбы и первые дышащие атмосферным воздухом наземные животные — скорпионы. Вымирают некоторые группы кораллов	В конце периода — выход растений на сушу — появление риниофитов
	Девонский (девон), 55 ± 10	400 ± 10	Климат характеризуется сменой сухих и дождливых сезонов.	Появление рыб всех известных крупных систематических групп.	Развитие, а затем вымирание риниофитов и псилофитов. Возникно-

			Оледенение на территории современных Южной Америки и Южной Африки. Полное освобождение от моря Сибири и Восточной Европы	Вымирание значительного количества беспозвоночных и большинства бесчелюстных. Освоение животными суши: пауки, клещи и другие членистоногие. В конце периода — первые наземные позвоночные — стегоцефалы	Исчезновение лесов карбона за счёт вымирания древовидных папоротников, хвощей и плаунов. Распространение хвойных в Северном полушарии
Каменно-угольный (карбон), 65 ± 10	345 ± 10	Всемирное распространение лесных болот. Равномерно тёплый влажный климат сменяется в конце периода холодным и сухим. Период завершается обширным оледенением южных континентов. Активное горообразование (Тянь-Шань, Урал, Альпы, Судеты, Кордильеры, Скалистые Альпы)	Быстрое развитие рептилий, возникновение звероподобных пресмыкающихся. Вымирание трилобитов и сокращение числа отрядов других беспозвоночных и ряда позвоночных	Широкое распространение фораминифер, кораллов, моллюсков. Расцвет земноводных. Появление первых рептилий — котилозавров, летающих насекомых, лёгочных моллюсков. Сокращение численности трилобитов	На суше леса с преобладанием споровых растений, появление первых хвойных. В болотах и прибрежных районах мелких морей накапливалось большое количество растительных остатков
Пермский (пермь), 50 ± 10	280 ± 10	Резкая зональность климата. Завершение горообразовательных процессов карбона. Отступление морей и формирование полузамкнутых водоёмов. Рифообразование	Исчезновение лесов карбона за счёт вымирания древовидных папоротников, хвощей и плаунов. Распространение хвойных в Северном полушарии	Быстрое развитие рептилий, возникновение звероподобных пресмыкающихся. Вымирание трилобитов и сокращение числа отрядов других беспозвоночных и ряда позвоночных	Исчезновение лесов карбона за счёт вымирания древовидных папоротников, хвощей и плаунов. Распространение хвойных в Северном полушарии

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
Мезозойская (средней жизни), 165	Триасовый (триас), 40 ± 5	230 ± 10	Ослабление климатической зональности, сглаживание температурных различий. Начало движения материков	Начало расцвета рептилий — начинается «век динозавров»; появляются черепахи, крокодилы и др. Возникновение первых млекопитающих, настоящих костистых рыб	Распространены папоротниковидные, хвощевидные, плауновидные. Вымирают семенные папоротники
	Юрский (юра), 60	190—195 ± 5	Климат, вначале влажный, сменяется к концу периода засушливым в области экватора. Движения континентов, формирование Атлантического океана	В океане появление новых групп моллюсков, в том числе головоногих. Господство пресмыкающихся на суше, в океане и воздухе. В конце периода появление первоптиц — археоптериксов	Широко распространены папоротники и голосеменные, появляется хорошо выраженная ботанико-географическая зональность
	Меловой (мел), 70	136 ± 5	Во многих районах Земли похолодание климата. Выраженное отступление морей, сменившееся обширным увеличением площади Мирового океана и новым поднятием суши. Интенсивные горообразовательные процессы (Альпы, Анды, Гималаи)	Появление настоящих птиц, а также сумчатых и плацентарных млекопитающих. В водоёмах преобладание костистых рыб. Расцвет насекомых. Вымирание крупных рептилий и примитивных мезозойских млекопитающих	Резко сокращается численность папоротников и голосеменных. Появляются первые покрытосеменные растения

Кайнозойская (новой жизни), 66 ± 3	Палеогено- вый (ниж- нетретич- ный), 41 ± 2	66 ± 3	Устанавливается тёплый равномерный климат. Интенсивное горообразование (Крым, Кавказ, Памир, Гималаи, Анды и др.)	В морях большое коли- чество кораллов, мол- люсков. Широко распро- страняются костистые рыбы, занимающие пресноводные водоёмы и моря, вымирают мно- гие формы головоногих моллюсков. На суше среди позвоночных: хвостатые и бесхвостые амфибии; крокодилы, ящерицы, змеи и чере- пахи. Появляются мно- гие отряды млекопита- ющих, в том числе при- маты. Возникает обособленный центр развития растительно- сти и животных в Юж- ном полушарии. Широ- кая дивергенция птиц. Расцвет насекомых	Господство покрытосе- менных растений; сохраняется значитель- ное количество групп, возникших в меловом периоде. Состав флоры близок к современно- му; в конце периода появляются тайга и тундра
	Неогено- вый (верх- нетретич- ный), 23	25 ± 2	Движение континен- тов; обособляются Каспийское, Средин- ное, Чёрное и Аральское моря		
	Антропоге- новый, 1,5—2	1,5—2	Характерны неодно- кратные смены кли- мата. Крупные оледене- ния Северного полушария	Появление и развитие человека. Животный мир приобретает современные черты	Растительный мир при- обретает современный облик, формируются ныне существующие сообщества

3.1. Развитие жизни в архейской и протерозойской эрах

Архейская эра — вторая по продолжительности (900 млн лет) после протерозоя. Её окончание отстоит от нашего времени более чем на 2,5 млрд лет. В архейской эре возникли первые живые организмы (см. 10 класс, гл. 2). Они были преимущественно гетеротрофами и в качестве пищи использовали органические соединения «первичного бульона», а также хемоавтотрофами, синтезирующими некоторое количество органических молекул из неорганических за счёт энергии химических связей неорганических соединений. Условия на древней Земле изменялись, и абиогенное возникновение органических молекул из неорганических в планетарном масштабе прекратилось. Остались отдельные небольшие локусы, преимущественно на дне океана, где и до сих пор происходит образование простейших органических соединений, но их вклад в обеспечение гетеротрофов питанием не велик.

Истощение запасов органики в Мировом океане поставило существование жизни на грань катастрофы.

Важнейший этап эволюции жизни на Земле связан с возникновением у древних прокариот *фотосинтеза* — биогенного синтеза органических молекул из неорганических за счёт энергии солнечного света, что обусловило разделение органического мира на растительный и животный. Первыми фотосинтезирующими организмами были прокариотические синезелёные — цианеи. Они, перестав зависеть от готовых органических молекул «первичного бульона», начали бурно развиваться. Особенно важно, что они открыли перед жизнью на Земле ещё один путь.

Фотосинтез сопровождается выделением побочного продукта — кислорода. На протяжении миллиарда лет он насыщал воду, где обитали первые живые организмы, и выделялся в атмосферу.

Микроскопические цианеи оставили множество следов своего существования. Они, захватывая частички ила, слой за слоем создавали огромные структуры, так называемые строматолиты, которые в заметно уменьшенном варианте существуют и в настоящее время, в частности у берегов Австралии и на побережье Флориды (рис. 3.1).

Практически остатками строматолитов исчерпывается всё, что дошло до нас с тех древнейших времён.

Цианеи и появившиеся затем *эукариотические* зелёные водоросли выделяли в атмосферу из океана свободный кислород, что способствовало возникновению бактерий, способных жить в аэробной среде. Предположительно в середине протерозойской эры — произошло ещё два крупных эволюционных события: появились *половой процесс* и *многоклеточность*.

Чтобы яснее представить значение двух последних ароморфозов, остановимся на них подробнее. Гаплоидные организмы (микроорганизмы, си-



Рис. 3.1. Строматолиты Австралии; слева — нитчатая колония прокариотических клеток, их образующая

незелёные) имеют один набор хромосом. Каждая новая мутация сразу же проявляется в фенотипе. Если мутация полезна, она сохраняется отбором, если вредна, организм, её несущий, устраняется отбором. Гаплоидные формы непрерывно приспосабливаются к среде, но принципиально новые признаки и свойства у них возникают не часто и то исключительно за счёт горизонтального обмена генами и дупликаций (см. с. 40—45).

Половой процесс резко повышает возможность приспособления к условиям среды вследствие создания бесчисленных комбинаций генов в хромосомах. *Диплоидность*, возникшая одновременно с оформленным ядром, позволяет сохранять мутации в гетерозиготном состоянии и использовать их как резерв наследственной изменчивости для дальнейших эволюционных преобразований. Кроме того, в гетерозиготном состоянии многие мутации часто повышают жизнеспособность особей и, следовательно, увеличивают их шансы в борьбе за существование (см. 10 класс, гл. 2).

Возникновение диплоидности и генетического разнообразия одноклеточных эукариот, с одной стороны, обусловило неоднородность строения клеток и их объединение в колонии, с другой — возможность «разделения труда» между клетками колонии, т. е. образование многоклеточных организмов. Разделение функций клеток у первых колониальных многоклеточных организмов привело к образованию первичных тканей — эктодермы и энтодермы, дифференцированных по структуре в зависимости от выполняемой функции. Дальнейшая дифференцировка тканей создала разнообразие, необходимое для расширения структурных и функциональных возможностей организма в целом, в результате чего создавались всё более

сложные органы. Совершенствование взаимодействия между клетками сначала контактного, а затем опосредованного с помощью нервной и эндокринной систем обеспечило существование многоклеточного организма как единого целого со сложным и тонким взаимодействием его частей и соответствующим реагированием на окружающую среду.

Пути эволюционных преобразований первых многоклеточных были различны. Некоторые перешли к сидячему образу жизни и превратились в организмы типа губок. Другие стали ползать, перемещаться по субстрату с помощью ресничек. От них произошли плоские черви. Третьи сохранили плавающий образ жизни, приобрели рот и дали начало кишечнотелостным (см. рис. 3.5).

В **протерозойской эре** в морях уже обитало много разнообразных водорослей, в том числе прикрепленных ко дну форм. Суша была безжизненной, но по берегам водоёмов начались почвообразовательные процессы в результате деятельности бактерий и микроскопических водорослей. Начальные звенья эволюции животных не сохранились. В протерозойских отложениях находят представителей вполне сформировавшихся типов животных: губок, кишечнотелостных, членистоногих.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Жизнь возникла на Земле из синтезированных абиогенным путём органических молекул.
- В архейскую эру, на границе с протерозоем, возникли первые клетки, что дало начало биологической эволюции.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 По какому принципу историю Земли делят на эры и периоды?
- 2 Вспомните материал главы 2 из учебника 10 класса. Расскажите, когда и как возникли первые живые организмы.
- 3 Какими жизненными формами был представлен живой мир в протерозойскую эру?



3.2. Развитие жизни в палеозойской эре

В начале **палеозойской эры** растения населяют в основном моря, но в ордовике — силуре появляются первые наземные растения — риниофиты (рис. 3.2), занимающие промежуточное положение между водорослями

и наземными сосудистыми растениями. Риниофиты уже могли иметь очень примитивную проводящую (сосудистую) систему, первые слабодифференцированные ткани, могли укрепляться в почве, хотя настоящие корни (как и настоящие побеги) отсутствовали. Дальнейшая эволюция растений на суше шла в направлении расчленения тела на вегетативные органы и ткани, совершенствование сосудистой системы (обеспечивающей быстрое передвижение воды на большую высоту). Уже в засушливом девоне совсем исчезают риниофиты и широко распространяются хвощи, плауны, папоротниковидные. Ещё большего развития достигает наземная растительность в каменноугольном периоде — карбоне, характеризующемся влажным и тёплым климатом на протяжении всего года (рис. 3.3). Появляются голосеменные растения, произошедшие от семенных папоротников.

Переход к семенному размножению дал растениям много преимуществ: зародыш в семенах теперь защищён от неблагоприятных условий оболочками и обеспечен питательными веществами, имеет диплоидное число

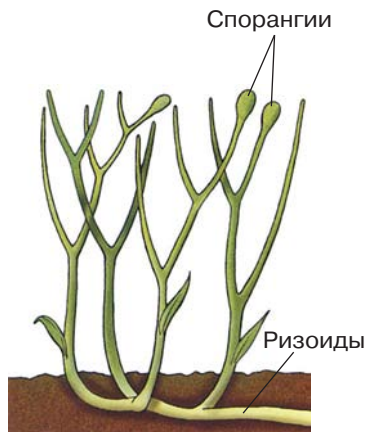


Рис. 3.2. Риниофиты — первые растения, вышедшие на сушу



Рис. 3.3. Леса каменноугольного периода

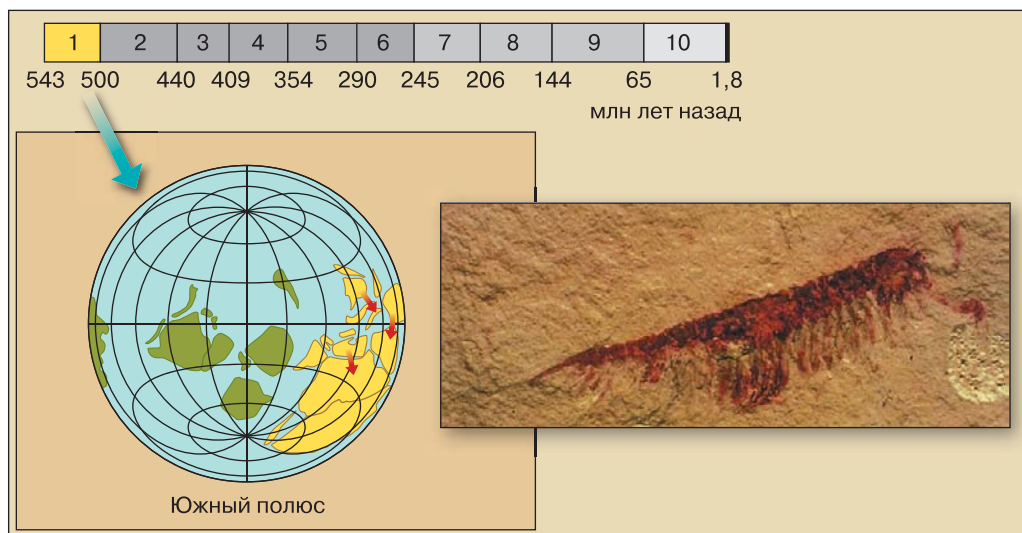


Рис. 3.4. Положение материков и отпечаток древнего членистоногого кембрийского периода

хромосом. У части голосеменных (хвойных) процесс полового размножения уже не связан с водой. Опыление у голосеменных осуществляется ветром, а семена снабжены приспособлениями для распространения потоками воздушных масс и животными. Эти и другие преимущества способствовали широкому расселению семенных растений. Крупные споровые растения вымирают в пермском периоде в связи со значительным иссушением и похолоданием климата.

Животный мир в палеозойской эре развивался чрезвычайно бурно и был представлен большим количеством разнообразных форм. Пышного расцвета достигает жизнь в морях. В кембрийском периоде уже существуют все основные типы животных, включая хордовых (рис. 3.4). Губки, кораллы, иглокожие, моллюски, громадные хищные ракоскорпионы — вот лишь неполный перечень обитателей кембрийских морей (рис. 3.5).

В ордовике продолжают совершенствование и специализация основных типов. В геологических отложениях этого периода впервые обнаруживаются остатки животных, имевших внутренний осевой скелет, бесчелюстных позвоночных, отдалёнными потомками которых являются современные миноги и миксины. Их жаберные дуги в ходе дальнейшей эволюции превратились в челюсти, усаженные зубами. Жаберная мускулатура преобразовалась в челюстную и подъязычную. Так, на основе существующих структур скелетных жаберных дуг, служивших опорой для органов дыхания, возник ротовой аппарат хватательного типа. Крупный ароморфоз — появление хватательного ротового аппарата, позволяющего в качестве пищи использовать живую добычу, — вызвал перестройку всей организации позвоночных. Возможность выбирать пищу способствовала улучшению ориентации



Рис. 3.5. Беспозвоночные кембрийского периода: трилобиты, губки, кольчатые черви

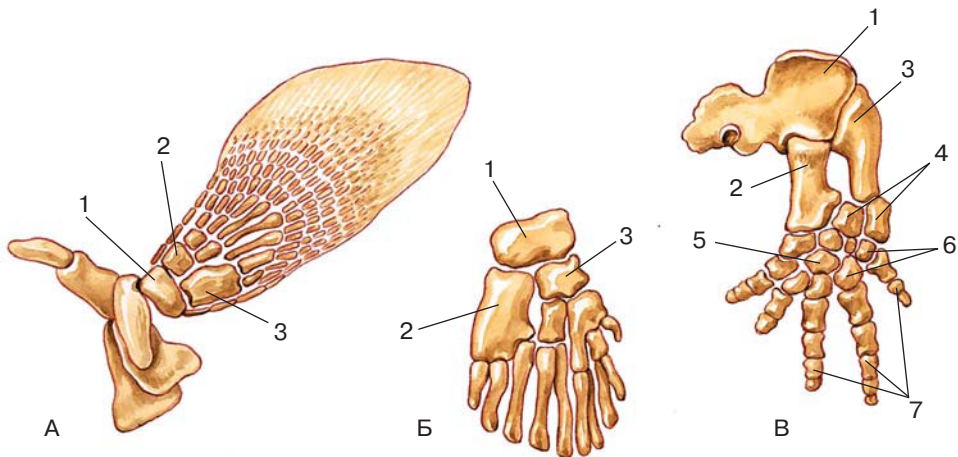


Рис. 3.6. Скелет плавника кистепёрой рыбы и стегоцефала:

А — плечевой пояс и плавник кистепёрой рыбы; Б — внутренний скелет плавника;
В — скелет передней конечности стегоцефала: 1 — элемент, гомологичный плечевой кости; 2 — элемент, гомологичный лучевой кости; 3 — элемент, гомологичный локтевой кости; 4, 5, 6 — кости запястья; 7 — фаланги пальцев

в пространстве путём совершенствования органов чувств. Первые челюстноротые не имели плавников и передвигались в воде путём змееподобных движений. Однако этот способ передвижения при необходимости поймать движущуюся добычу оказался малоэффективен. Поэтому для улучшения передвижения в воде имели значение кожные складки. В филогенезе определённые участки этой складки развиваются дальше и дают начало плавникам, парным и непарным.

С увеличением размеров складок потребовался скелет для их укрепления. Скелет парных боковых складок возник в виде ряда хрящевых (затем костных) лучей. Очень важно, что хрящевые лучи оказываются связанными между собой хрящевой пластинкой, тянущейся под кожей вдоль основания плавников. Эта пластинка дала начало поясу конечностей (рис. 3.6). Таким образом, участки боковых складок превратились в парные грудные и брюшные плавники, а средняя часть складки редуцировалась. Появление парных плавников — конечностей — следующий крупный ароморфоз в эволюции позвоночных. Итак, челюстноротые позвоночные приобрели хватательный ротовой аппарат и конечности. В своей эволюции они разделились на хрящевых и костных рыб.

В силурийском периоде на сушу вместе с первыми наземными растениями — псилофитами вышли первые дышащие воздухом животные — членистоногие (паукообразные) (рис. 3.7). В водоёмах продолжалось бурное развитие низших позвоночных. Предполагается, что позвоночные возникли в мелких пресноводных водоёмах и лишь затем переселились в моря.

В девоне позвоночные представлены тремя группами: двоякодышащими, лучепёрыми и кистепёрыми рыбами (рис. 3.8, 3.9).

В конце девона появились насекомые (кормовая база для будущих наземных позвоночных). Среди позвоночных кистепёрые рыбы были типично водными животными, но могли дышать атмосферным воздухом с помощью примитивных лёгких, представлявших собой выпячивания стенки кишки. Чтобы понять дальнейшую эволюцию рыб, необходимо представить себе климатические условия в девонском периоде. Бóльшая часть суши была безжизненной пустыней. По берегам пресноводных водоёмов в густых зарослях растений обитали кольчатые черви, членистоногие. Климат сухой, с резкими колебаниями температуры в течение суток и по сезонам. Уровень воды в реках и водоёмах часто менялся. Многие водоёмы полностью высыхали летом, а зимой промерзали. Водная растительность гибла при пересыхании водоёмов, накапливались и затем гнили растительные остатки. Всё это создавало очень неблагоприятную среду для рыб. В этих условиях их могло спасти только дыхание атмосферным воздухом. Таким образом, возникновение лёгких можно рассматривать как идиоадаптацию к недостатку кислорода в воде. При пересыхании водоёмов у животных было два пути спасения: зарывание в ил или миграция в поисках воды. По первому пути пошли двоякодышащие рыбы, строение которых почти не изменилось со времени девона и которые обитают сейчас в мелких пересыхающих водоёмах Африки (рис. 3.10). Эти рыбы переживают засушливое время года, зарываясь в ил, и дышат атмосферным воздухом. Приспособиться к жизни

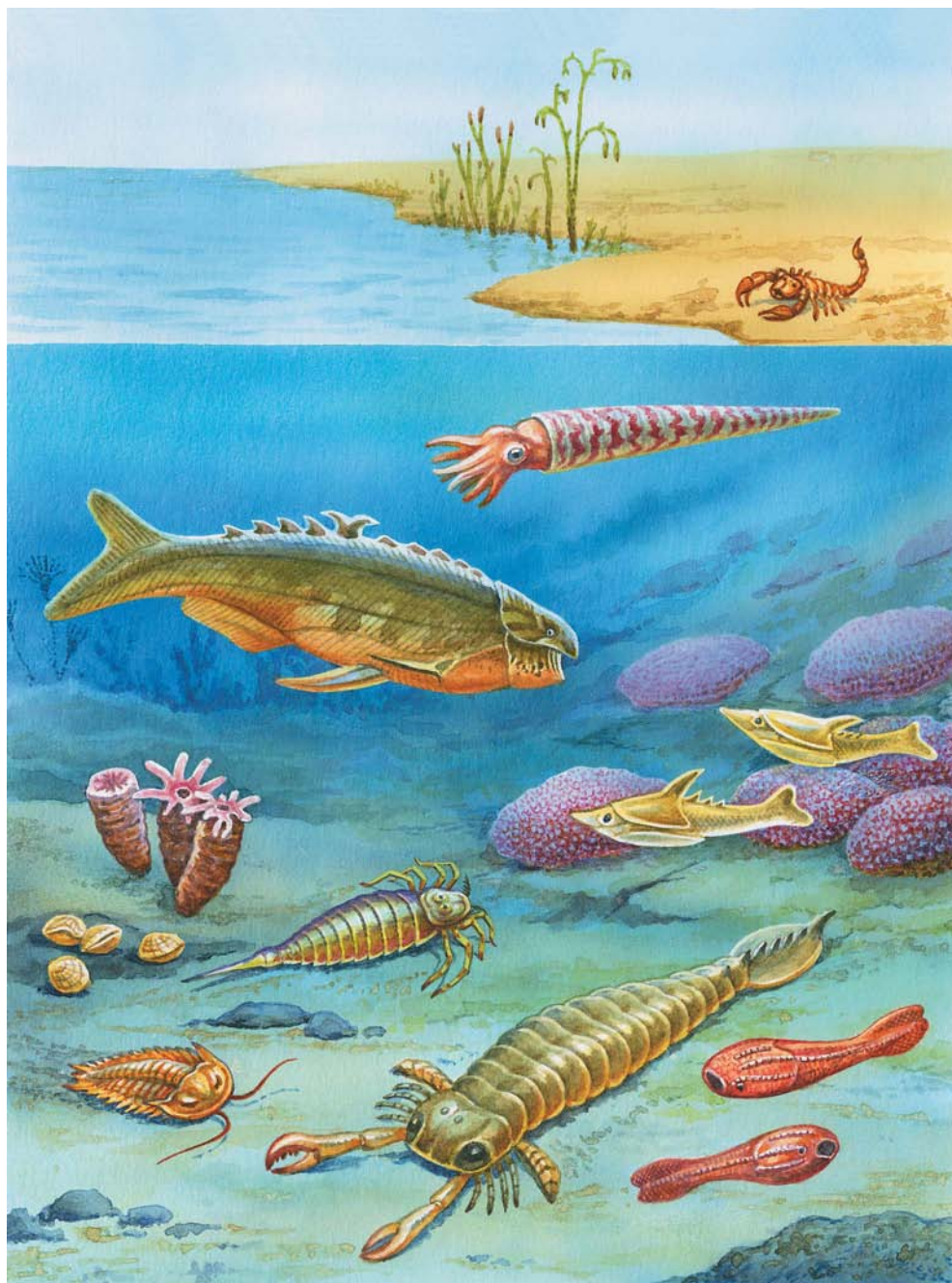


Рис. 3.7. Фауна позднего силурийского периода: ракоскорпионы, кишечнополостные, моллюски, бесчелюстные, первые растения риниофиты

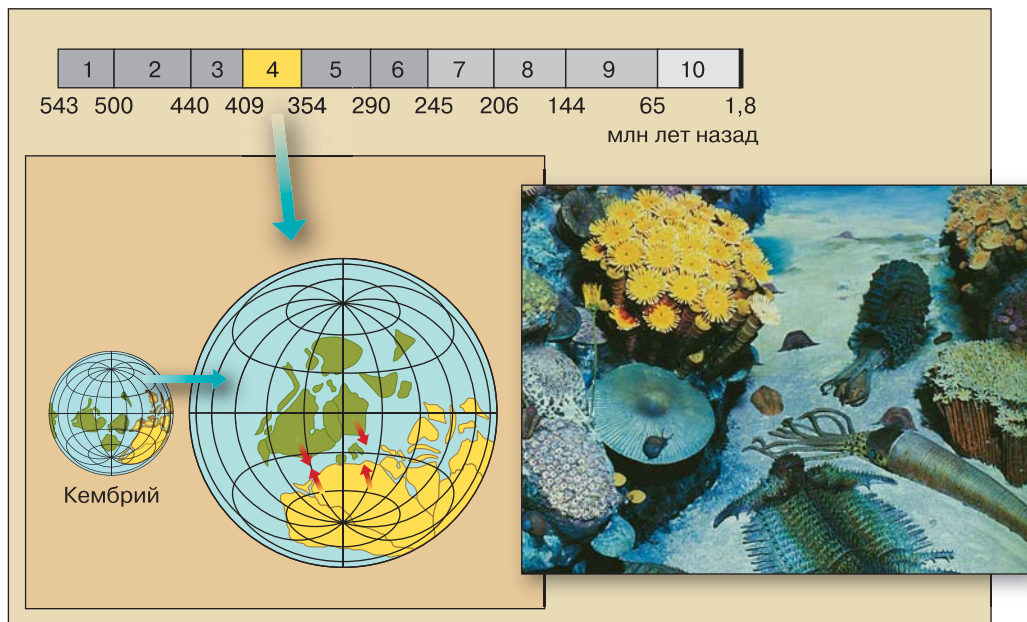


Рис. 3.8. Положение материков и подводный мир девона

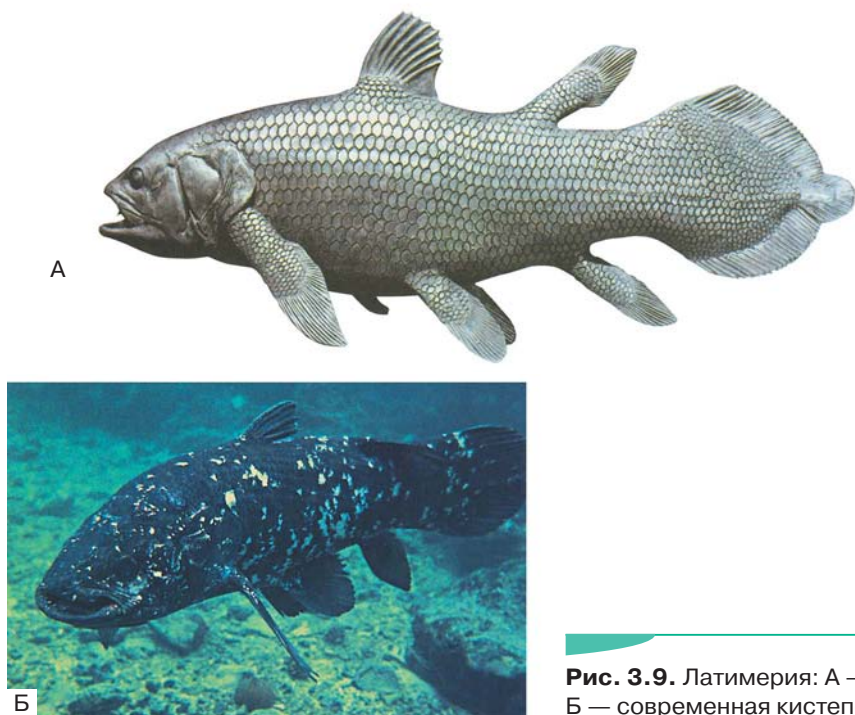


Рис. 3.9. Латимерия: А — муляж; Б — современная кистепёрая рыба

Рис. 3.10. Современная двоякодышащая рыба, обитающая в пересыхающих водоёмах



на суше смогли только кистепёрые рыбы. Их плавники имели вид лопастей, состоящих из отдельных костей с прикреплёнными к ним мышцами.

Лучепёрые же рыбы имели плавники, поддерживающиеся отдельными костными лучами. Они широко распространились не только в одной среде обитания и сейчас представляют самый большой по числу видов класс позвоночных.

С помощью плавников кистепёрые рыбы — крупные животные от 1,5 до нескольких метров в длину — могли ползать по дну. Они имели две основные предпосылки для перехода в наземную среду обитания: мускулистые конечности и лёгкие. В конце девона кистепёрые рыбы дали начало первым земноводным — стегоцефалам (рис. 3.11).

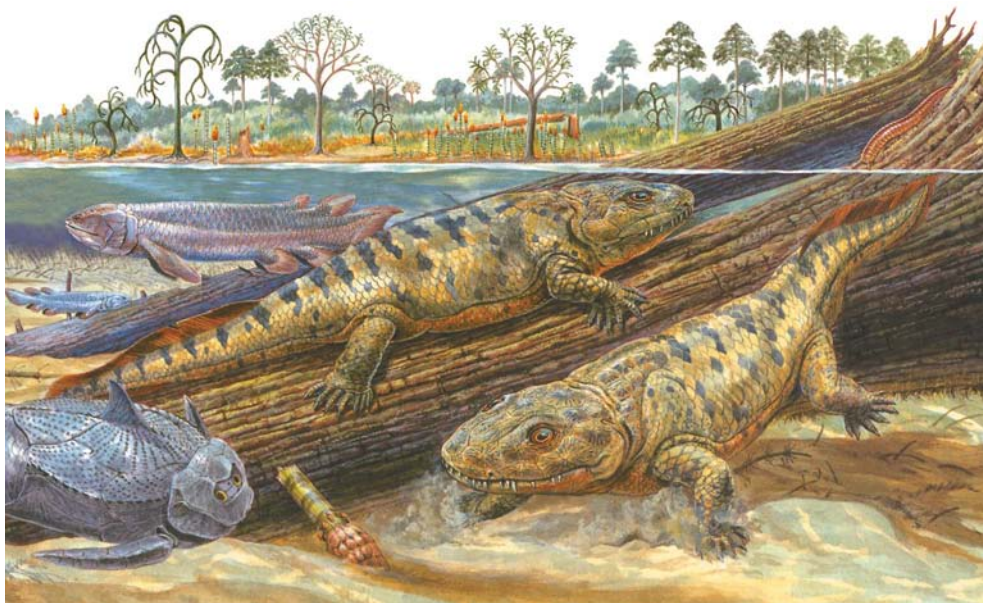


Рис. 3.11. Стегоцефалы — первые четвероногие животные, вышедшие на сушу в девоне

Для приспособления к жизни на суше потребовалась коренная перестройка всей организации животных. Конечность из цельной упругой пластинки преобразуется в систему рычагов, соединённых суставами. Наибольшая нагрузка падает на пояс задних конечностей, который становится значительно более мощным. Конечности, особенно задние, удлиняются. Между позвонками развиваются суставы. Появляются слёзные железы, подвижные веки, мышцы, втягивающие глаза внутрь орбиты; всё это защищает роговицу глаза от высыхания. Боковые мышечные сегменты разделяются на большое число отдельных мышц, прикрепляющихся к разным частям скелета. Движение по суше связано с необходимостью увеличения подвижности головы, вследствие чего у наземных позвоночных череп обособляется от костей плечевого пояса. Большая подвижность конечностей сопровождается отделением мышц плечевого пояса от боковых мышц тела и сильным развитием брюшной мускулатуры.

На протяжении каменноугольного периода стегоцефалы жили, питались и размножались в воде. Они выползали на сушу, но не совершали сколько-нибудь значительных миграций. Стегоцефалы разделились (дивергирова-

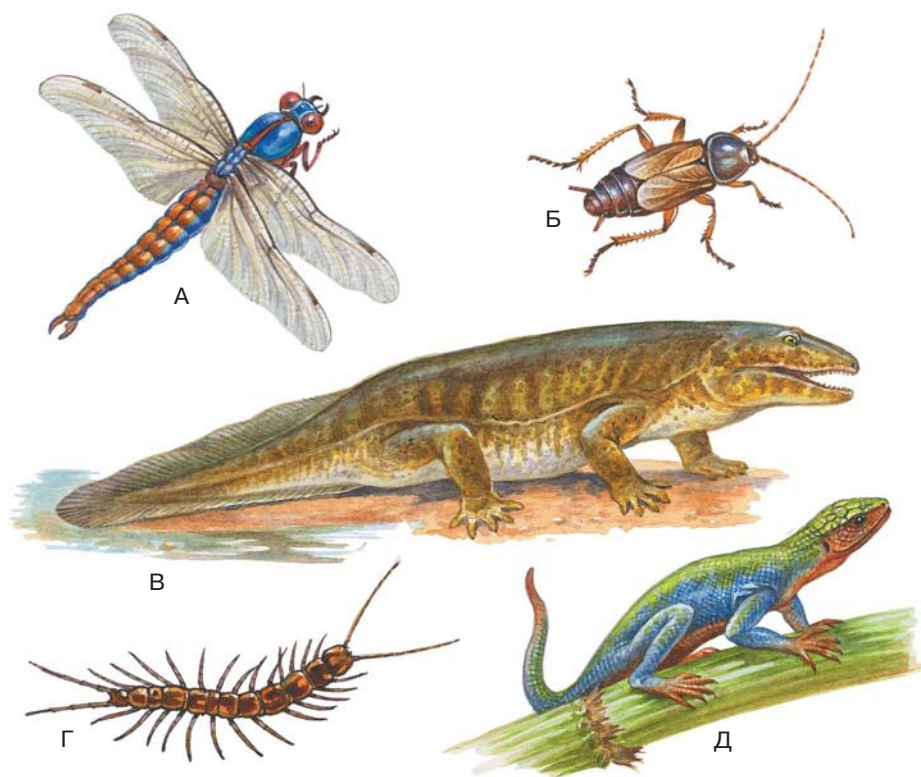


Рис. 3.12. Животные карбона: А, Б — насекомые; В — амфибия; Г — многоножка; Д — рептилия

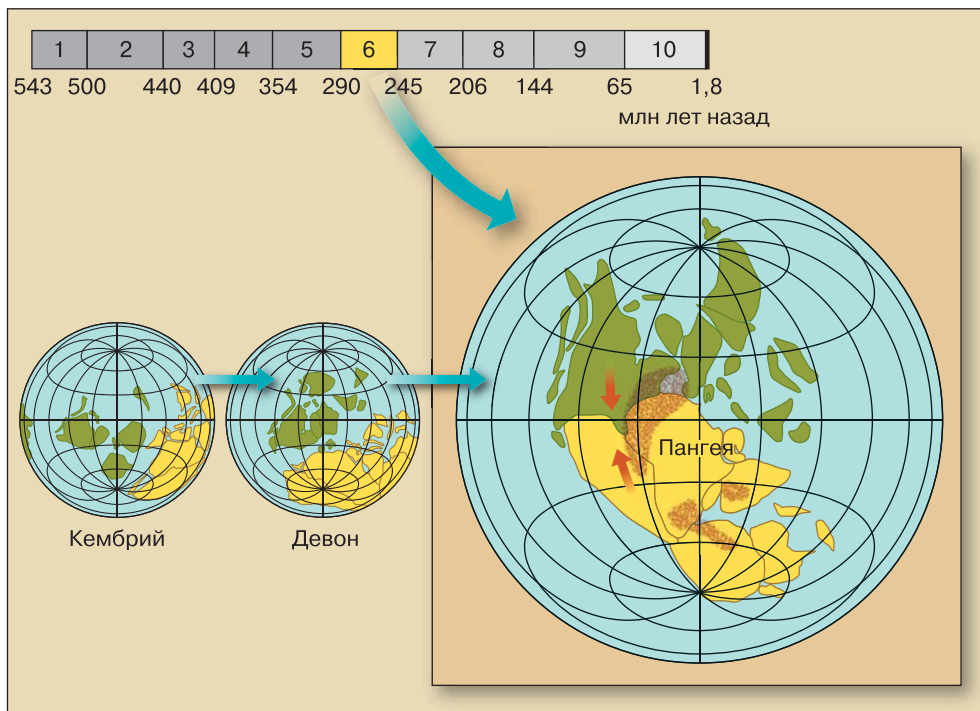


Рис. 3.13. Положение материков в пермском периоде

ли) на большое число форм — от крупных рыбадных хищников до мелких, питавшихся беспозвоночными. На суше у стегоцефалов не было врагов и имелся обильный корм: черви, членистоногие, достигавшие крупных размеров (рис. 3.12). Многие группы земноводных переходили к жизни на суше и возвращались в воду только для размножения.

В пермском периоде происходило поднятие суши, иссушение и похолодание климата (рис. 3.13). Многие древние группы амфибий вымирают как из-за ухудшения климатических условий, так и вследствие истребления подвижными хищными рептилиями. Ещё в карбоне среди стегоцефалов выделилась группа, имевшая хорошо развитые конечности и подвижную систему двух первых шейных позвонков, дающих возможность поворачивать только голову, а не всё тело (рис. 3.14). Представители группы размножались в воде, но уходили по суше дальше амфибий, питались наземными животными, а затем и растениями. Эта группа получила название котилозавров. В дальнейшем от них произошли рептилии и млекопитающие.

Рептилии приобрели свойства, позволившие им окончательно порвать связь с водной средой. Внутреннее оплодотворение, накопление желтка в яйцеклетке, появление амниотической оболочки сделали возможным размножение на суше. Ороговение кожи и более сложное строение почки способствовали резкому уменьшению потерь воды организмом и широкому



Рис. 3.14. Один из первых представителей пресмыкающихся и беспозвоночные карбона

расселению. Грудная клетка обеспечила более эффективный тип дыхания — всасывающий. Отсутствие конкуренции вызвало широкое распространение рептилий по суше и возвращение части из них (ихтиозавры) в водную среду.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- В отложениях протерозойской эры находят представителей всех современных типов беспозвоночных животных.
- Палеозойская эра характеризуется появлением большинства представителей типа хордовых: рыб, амфибий, рептилий.
- На фоне возникновения новых видов происходило постоянное вымирание прежде существовавших форм.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Опишите климатические условия периодов палеозойской эры.
- 2 Когда появились первые наземные растения?
- 3 В каком направлении шла эволюция растений на суше?
- 4 Охарактеризуйте эволюцию животных в палеозойскую эру.
- 5 Какие особенности строения позвоночных животных послужили предпосылками выхода их на сушу?

3.3. Развитие жизни в мезозойской эре

В начале следующей, мезозойской, эры на Земле происходят горообразовательные процессы. Появляются Урал, Тянь-Шань, Алтай. На большей части земного шара устанавливается тёплый климат, близкий к современному тропическому. К концу мезозойской эры зона сухих климатических условий расширяется, сокращаются площади морей и океанов. В триасе вымирают гигантские папоротники, древовидные хвощи, плауны. Достигают расцвета голосеменные растения. В юрском периоде вымирают семенные папоротники и появляются первые покрытосеменные растения, постепенно распространившиеся на все материки. Это было обусловлено рядом преимуществ: покрытосеменные имеют сильно развитую проводящую систему, цветок привлекает насекомых-опылителей, что обеспечивает надёжность перекрёстного опыления, зародыш снабжается запасами пищи (благодаря двойному оплодотворению развивается триплоидный эндосперм) и защищён оболочками и т. д. В животном мире достигают расцвета насекомые и рептилии. Рептилии занимают господствующее положение и представлены большим числом весьма разнообразных форм (рис. 3.15).

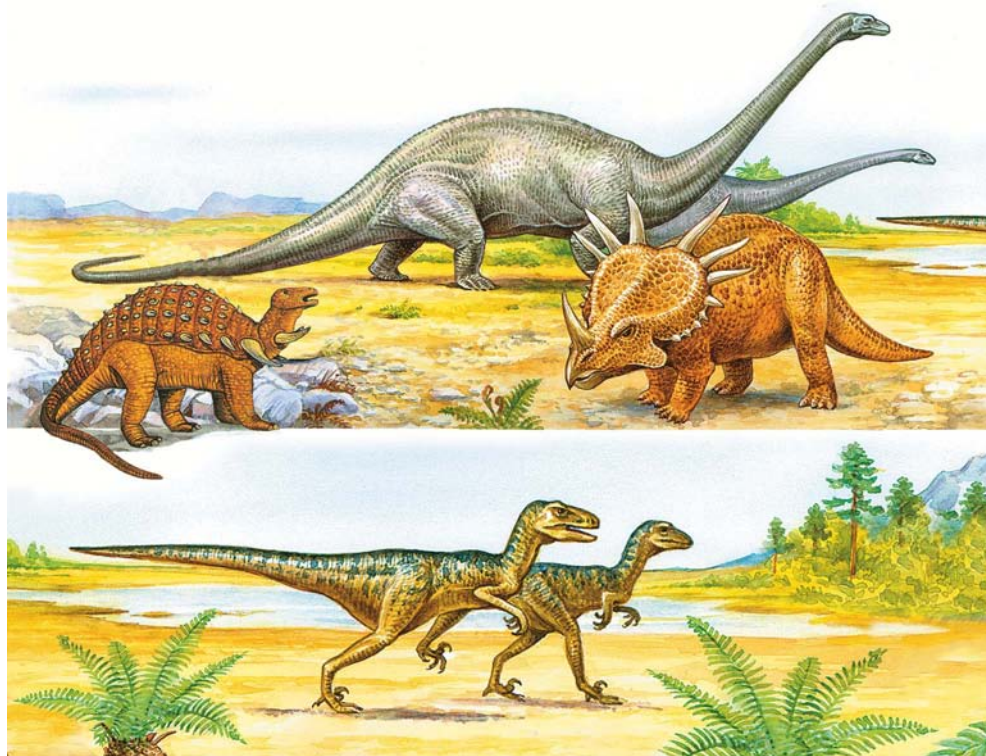


Рис. 3.15. Представители мезозойских рептилий

В юрском периоде появляются летающие ящеры и завоёвывают воздушную среду. В меловом периоде специализация рептилий продолжается, они достигают громадных размеров. Масса некоторых из них (динозавры) достигала 50 т. Начинается параллельная эволюция цветковых растений и насекомых-опылителей. В конце мелового периода вновь происходят горообразовательные процессы. Возникают Альпы, Анды, Гималаи. Наступает похолодание, сокращается ареал околводной растительности. Вымирают растительноядные, за ними и хищные динозавры. Крупные рептилии сохраняются лишь в тропическом поясе (крокодилы). Существует гипотеза, в соответствии с которой в вымирании динозавров и многих других групп организмов немаловажную роль сыграло падение на Землю крупного астероида 65 млн лет назад.

Вследствие вымирания хищных рептилий наиболее приспособленными оказываются теплокровные животные — птицы и млекопитающие. В морях вымирают многие формы беспозвоночных и морские ящеры.

Птицы произошли от вполне сформированных рептилий, по-видимому, архозавров, в меловом периоде мезозойской эры (рис. 3.16). Возникновение птиц сопровождалось появлением крупных ароморфозов в их строении: они утратили одну из двух дуг аорты и приобрели полную перегородку между правым и левым желудочками сердца. Полное разделение артериального и венозного кровотоков обусловило теплокровность птиц. В остальных чертах своей организации они сходны с пресмыкающимися,



Рис. 3.16. Археоптерикс;
слева — его отпечаток

Рис. 3.17. Один из представителей древних млекопитающих (реконструкция)



и их иногда называют «пернатыми рептилиями». Все особенности строения птиц — перьевой покров, преобразование передних конечностей в крылья, роговой клюв, воздушные мешки и двойное дыхание, укорочение задней кишки — являются приспособлениями к полёту, т. е. идиоадаптациями.

Возникновение млекопитающих связано с рядом крупных ароморфозов, развившихся у представителей одного из подклассов пресмыкающихся. К ароморфозам, определившим формирование млекопитающих как класса, относятся: образование волосяного покрова и четырёхкамерного сердца, полное разделение артериального и венозного кровотоков, внутриутробное развитие потомства и вскармливание детёныша молоком. Вынашивание зародышей в теле матери и забота о потомстве резко повысили выживаемость млекопитающих. К ароморфозам следует отнести и развитие коры головного мозга, обусловившее преобладание условных рефлексов над безусловными и возможность приспособления к непостоянным условиям среды путём изменения поведения. Млекопитающие возникли в триасе (рис. 3.17), но не могли конкурировать с хищными динозаврами, поэтому на протяжении 100 млн лет занимали подчинённое положение.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Мезозойская эра характеризуется появлением теплокровных животных — птиц и млекопитающих.
- Первые млекопитающие в течение 100 млн лет занимали подчинённое положение.
- В конце мелового периода вымирают крупные рептилии.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Охарактеризуйте климатические условия мезозоя.
- 2 Когда возникли цветковые растения?
- 3 Укажите эволюционные преимущества цветковых растений.
- 4 В каком периоде мезозойской эры и вследствие каких ароморфозов возникли млекопитающие?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Какие изменения в строении позвоночных животных произошли в процессе приспособления их к жизни на суше?
- 2 Почему земноводные каменноугольного периода достигли биологического процветания?
- 3 Какие ароморфозы привели к возникновению пресмыкающихся?
- 4 Как назывались первые наземные растения и какие отличительные особенности они имели?
- 5 Какие эволюционные преимущества даёт переход растений к семенному размножению?



3.4. Развитие жизни в кайнозойской эре

В начале кайнозойской эры завершились горообразовательные процессы, начавшиеся в конце мезозоя. Обособились Средиземное, Чёрное, Каспийское и Аральское моря. Установился тёплый равномерный климат. На севере преобладали хвойные, на юге — растительность тёплого и умеренного климата. Вся Европа была покрыта лесами, состоящими из дуба, берёзы, сосны, каштана и др. В тропиках росли фикусы, лавровые, гвоздичные, эвкалипты и др. В четвертичном периоде кайнозойской эры (2—3 млн лет назад) наступило оледенение значительной части Земли. Ледяной покров доходил в среднем до 57° с. ш., достигая в отдельных районах 40° с. ш. Теплолюбивая растительность отступила на юг или вымерла, появилась холодоустойчивая травяная и кустарниковая растительность. На больших территориях леса сменились степью, полупустыней и пустыней. На этом этапе сформировались современные растительные сообщества.

Развитие животного мира в кайнозойскую эру характеризуется дальнейшей дифференциацией насекомых, интенсивным видообразованием у птиц и чрезвычайно быстрым прогрессивным развитием млекопитающих.

Млекопитающие представлены тремя подклассами: Однопроходные (утконос и ехидна), Сумчатые и Плацентарные. Однопроходные, или яйцекладущие, млекопитающие возникли независимо от других млекопитающих ещё в юрском периоде от звероподобных рептилий. Сумчатые и плацентарные млекопитающие произошли от общего предка в меловом периоде и сосуществовали до наступления кайнозойской эры, когда произошёл «взрыв» в эволюции плацентарных, в результате чего эти млекопитающие вытеснили сумчатых с большинства континентов.

Наиболее примитивными были насекомоядные млекопитающие, от которых произошли первые хищные и приматы. Древние хищные дали начало копытным. В палеогене млекопитающие начинают завоёвывать море (китообразные, ластоногие и др.). К концу неогена встречаются уже все современные семейства млекопитающих. Одна из групп обезьян — австралопитеки — стала родоначальницей ветви, ведущей к роду Человек.

Оледенения четвертичного периода, достигшие максимального распространения около 250 тыс. лет назад, способствовали развитию холодоустойчивости фауны. На Северном Кавказе и в Крыму встречались мамонты, шерстистые носороги, северные олени, песцы, полярные куропатки. Образование больших масс льда вызывало понижение уровня Мирового океана. Это понижение в разные периоды составляло 85—120 м по сравнению с современным. В результате обнажались материковые отмели Северной Америки и Северной Евразии. Появились сухопутные «мосты», соединявшие Североамериканский континент с Евразийским (на месте нынешнего Берингова пролива), Британские острова с Европейским материком и т. д. По таким «мостам» происходила миграция видов, приведшая к формированию



Рис. 3.18. Схема эволюционных изменений растений: увеличение размеров и значения бесполого поколения — спорофитов ($2n$) и редукция размеров полового поколения — гаметофитов (n)

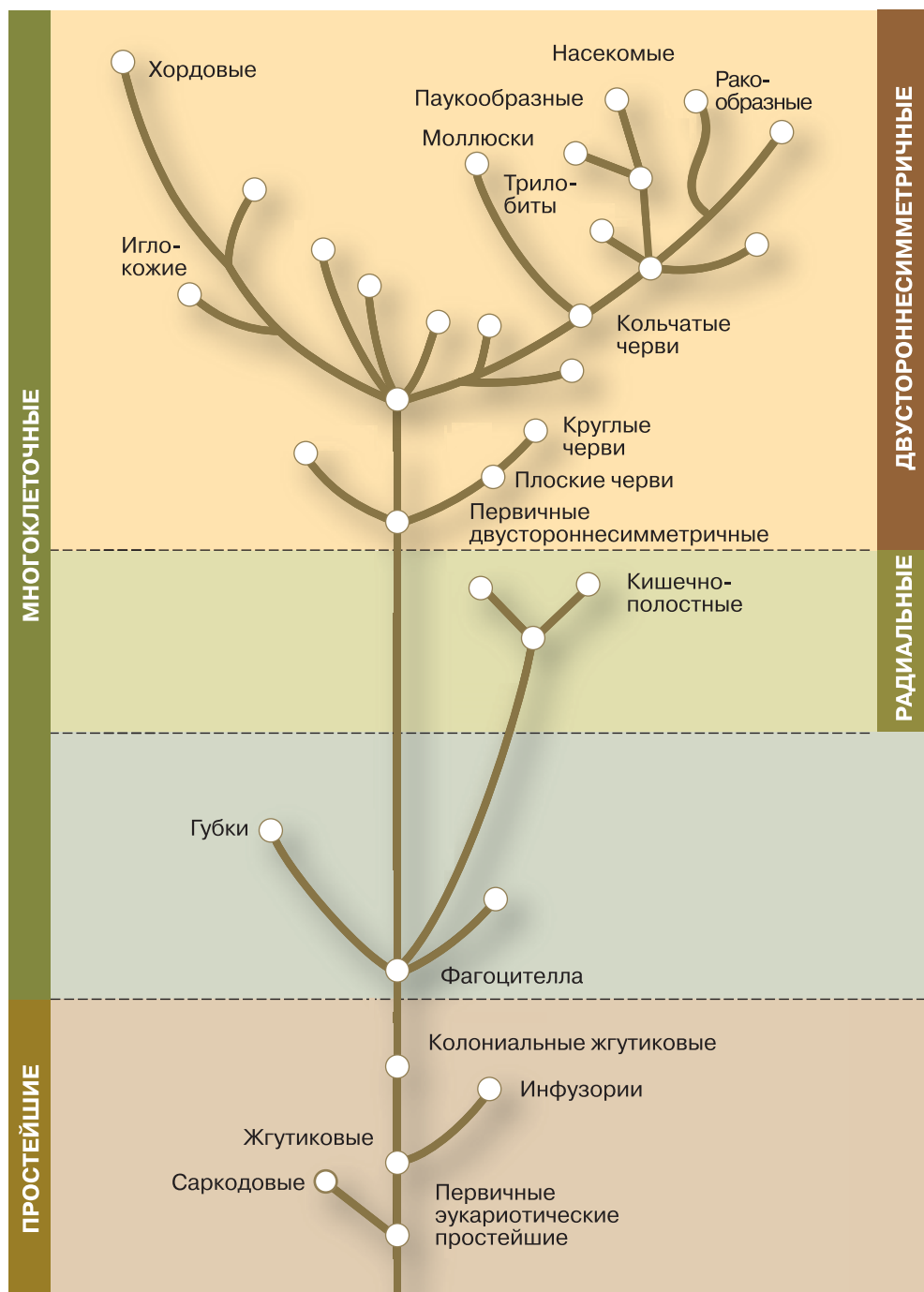


Рис. 3.19. Основные этапы эволюции животных

современной нам фауны материков. Изменения климата в четвертичном периоде кайнозойской эры оказали влияние на эволюцию предков человека.

В завершение обобщим основные черты эволюционных преобразований растений и животных.

Основные этапы эволюции растений.

1. Переход от гаплоидности к диплоидности. Диплоидность смягчает влияние неблагоприятных рецессивных мутаций на жизнеспособность и даёт возможность накопить резерв наследственной изменчивости. Этот переход прослеживается при сопоставлении современных групп живых организмов. У многих водорослей все клетки, кроме зигот, гаплоидны. У более высокоорганизованных бурых водорослей наряду с гаплоидными существуют и диплоидные особи. У мхов преобладает гаплоидное поколение (взрослое растение) при сравнительно слабом развитии диплоидного (органы спороношения, например, коробочка со спорами у кукушкина льна). Но уже у папоротников преобладает диплоидное поколение, а у голосеменных и покрытосеменных растений самостоятельно существуют только диплоидные особи (рис. 3.18).

2. Утрата связи процесса полового размножения с водой, переход от наружного оплодотворения к внутреннему, возникновение двойного оплодотворения.

3. Разделение тела на органы (корень, стебель, лист), развитие проводящей системы, усложнение и совершенствование строения тканей.

4. Специализация опыления с помощью насекомых и распространение семян и плодов животными.

Основные этапы эволюции животных.

1. Возникновение многоклеточности и всё большее расчленение всех систем органов.

2. Возникновение твёрдого скелета (наружного — у членистоногих и внутреннего — у позвоночных).

3. Развитие центральной нервной системы.

4. Развитие общественного поведения в разных группах высокоорганизованных животных.

Накопление ряда крупных ароморфозов в процессе биологической эволюции привело к качественному скачку — социальной форме движения матери и возникновению человеческого общества. Основные направления эволюции животных показаны на рисунке 3.19.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Формирование современных очертаний континентов, разделение отдельных частей суши приводило к изоляции групп живых организмов.
- Первые хищные и приматы произошли от примитивных насекомоядных млекопитающих.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Охарактеризуйте эволюцию жизни в кайнозойскую эру.
- 2 Какое влияние оказывали обширные оледенения на развитие растений и животных в кайнозой?
- 3 Как вы можете объяснить сходство фауны и флоры Евразии и Северной Америки?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Охарактеризуйте основные направления эволюции растений на Земле.
- 2 Какое значение для развития живой природы имел переход живых организмов от гаплоидности к диплоидности?
- 3 На каких примерах можно наблюдать параллельное развитие животных и растений?

Обзор пройденного материала главы 3

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Историю Земли принято делить на промежутки времени, границами которых являются крупные геологические события: горообразовательные процессы, поднятия и опускания суши, изменения очертаний материков, уровня океанов.

В архейской эре возникли первые живые организмы. Они были гетеротрофами и в качестве пищи использовали органические соединения «первичного бульона».

Первыми фотосинтезирующими организмами были прокариотические синезелёные — цианеи. Цианеи и появившиеся затем эукариотические зелёные водоросли выделяли в атмосферу из океана свободный кислород.

На границе архейской и протерозойской эр произошло два крупных эволюционных события — появились половой процесс и многоклеточность.

В протерозойской эре в морях обитало много разнообразных водорослей. Начальные звенья эволюции животных не сохранились. В протерозойских отложениях находят остатки представителей вполне сформировавшихся типов беспозвоночных животных: губок, кишечнополостных, членистоногих.

В каменноугольном периоде (карбоне) появляются голосеменные растения, произошедшие от семенных папоротников.

В силурийском периоде на сушу вместе с первыми наземными растениями — псилофитами вышли первые дышащие воздухом животные — членистоногие (паукообразные).

Кистепёрые рыбы имели две основные предпосылки для перехода в наземную среду обитания — мускулистые конечности и лёгкие. В конце девона они дали начало первым земноводным — стегоцефалам.

Рептилии приобрели свойства, позволившие им окончательно повать связь с водной средой. Внутреннее оплодотворение и накопление желтка в яйцеклетке сделали возможным размножение на суше.

В юрском периоде вымирают семенные папоротники и появляются первые покрытосеменные растения, постепенно распространившиеся на все материки.

Возникновение млекопитающих связано с рядом крупных ароморфозов, развившихся у представителей одного из подклассов пресмыкающихся.

Развитие животного мира в кайнозойскую эру характеризуется дальнейшей дифференциацией насекомых, интенсивным видообразованием

ем у птиц и чрезвычайно быстрым прогрессивным развитием млекопитающих.

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

1. Почему именно палеонтология даёт важнейшие доказательства процесса эволюции на нашей планете?
2. Каковы, по вашему мнению, причины возникновения и вымирания крупных систематических групп живых организмов в различные периоды истории Земли?

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

1. Какие условия внешней среды послужили причиной выхода позвоночных на сушу?
2. Как можно установить возраст ископаемых остатков растений и животных?

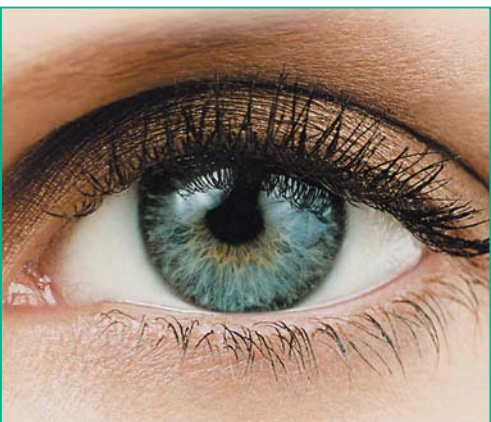
ЗАДАНИЯ

1. Повторите материал главы 2 учебника для 10 класса и выделите основные ароморфозы начальных этапов биологической эволюции.
2. Опишите главные направления развития флоры и фауны на Земле в различные периоды её существования.

Происхождение человека

Наследие это складывается из биологических корней как в строении человека, так и в его поведении, на основе которых среда формирует его сущность. Только разобравшись в своём, доисторическом прошлом, мы сумеем понять, чем мы были и как стали такими, какие мы есть.

Б. Кемпбелл



Общий план строения и сходства многих черт организации человека и животных, особенно млекопитающих, очень давно привлекал внимание людей. Попытки понять место человека в природе, объяснить его сходство с другими организмами, его своеобразие, причины разнообразия признаков человеческого типа во многих странах предпринимались в очень давние времена, возможно, одновременно с появлением научного знания вообще.

Возникновение человека. Издавна люди пытались осмыслить своё место в мироздании и понять, откуда они и кто они. Окружающий мир наши предки воспринимали как нечто существовавшее вечно. Собственное же положение в нём, причину своего отличия от других населяющих Землю существ требовалось объяснить — и себе, и потомкам.

Даже у «примитивных» народов, не имеющих развитых учений о происхождении мира в целом, мифы о возникновении человека есть. Это яркое свидетельство их важности для человека и общества.

Самые первые мифы рассказывали о появлении не всего человечества, а конкретного племени. «Чужие» люди за пределами «своего рода» в глубокой древности нередко даже не считались людьми, а относились либо к тому же разряду, что и животные, либо к враждебным сверхъестественным существам. Такие представления были распространены повсеместно, а их пережитки сохранялись и после первобытной эпохи.

Род мыслился происходящим от *тотема* — наделённого чудесными свойствами предка, который чаще всего выступал в образе животного или

растения. Он был почитаем общиной и считался незримым покровителем, живущим рядом с людьми.

«Братство» с дикими животными ощущали многие поколения первобытных охотников. Как правило, они не убивали своих «собратьев». Это происходило изредка, лишь для укрепления невидимой связи с тотемом, и сопровождалось множеством обрядов, призванных умиловить главного предка.

Среди тотемических мифов учёные особо выделяют те, что связывают человека и обезьяну. Они свидетельствуют об умении древних людей наблюдать за природой и подмечать своё сходство с отдельными существами. По распространённому у некоторых первобытных племён представлению, обезьяны некогда были людьми. Отголоски таких верований встречаются в африканских мифах.

Говорится, в частности, что в обезьян превратились люди из-за нарушения ими нравственных законов. Схожие взгляды были и у индейцев майя. Нередко крупные человекообразные обезьяны (орангутаны, шимпанзе, гориллы) воспринимались как потомки племён, ушедших в лесные дебри от «настоящих» людей. Миф, утверждающий, что люди произошли от обезьян, отмечен также на Тибете.

Ещё одно почитавшееся животное — медведь. Отдельные племена прямо вели своё происхождение от этого зверя. Широко была распространена вера в «братство» людей и медведей, в то, что медведь раньше был человеком. Так полагали и древние славяне. В Западной Сибири у хантов и манси «хозяин леса» считался тотемом, и его чтили как родича небесных духов. На Сахалине у нивхов в медведе видели человека из Верхнего мира.

Постепенно складывались представления, что все люди сотворены неким высшим существом — первочеловеком, верховным духом или богом. Чаще всего творец делает людей из земли или дерева. В древнейших индоевропейских и семитских мифах человека создают из земли, глины, «праха земного». Встречаются и другие мотивы. Австралийский миф о творце Байаме рассказывает, что тот создал одних людей из глины и дерева, а других — превратив в людей животных. Скандинавский бог Один лишь доводит до совершенства неизвестно откуда взявшихся, «судьбы не имевших», деревянных людей Аска и Эмблу.

Мифы о первых людях как существах несовершенных, иногда даже бесполох, распространены на всех континентах. Не менее часто встречаются повествования о смене «поколений» живых существ, населявших Землю. Согласно таким рассказам, людям предшествовали великаны, карлики, другие сказочные существа или «древние люди», истреблённые затем богами за свою гордыню.

В мифах Древнего Египта люди — творение высших богов, а их появление в мире — один из важных этапов творения мира. Видимо, самым ранним можно считать миф о создании людей из элементов мироздания руками богов: бог-творец Хнум, например, лепит людей из глины на гончарном круге. Некоторые мифы предлагают иные версии: что люди произошли из

слёз солнечного бога Ра; вышли из тела какого-то древнейшего бога и были его образом и подобием; родились из уст Амона Ра. Есть и такой вариант: весь видимый мир создаёт бог-творец Птах своим словом, непостижимым человеческому разуму.

Дальнейшее развитие древних религий привело к появлению нового мотива: человек рождён из двух начал — земного и небесного. Так, согласно Библии, Бог сотворил его «из праха земного» по своему образу и подобию в последний, шестой день творения. Позднейшие комментаторы Священного Писания часто подчёркивают, что подобие Богу вовсе не означает телесное сходство. Истинный облик Господа, согласно христианской традиции, вообще непостижим человеком. Творение первого человека — Адама происходило как бы в два этапа: «И создал Господь Бог человека из праха земного, и вдунул в лице его дыхание жизни, и стал человек душою живою». Чуть позже из ребра Адама была сотворена его жена — Ева.

Подобные представления о творении человека и его грехопадении являются очень близкими для всех так называемых авраамических религий, к которым относят иудаизм, христианство и ислам.

Зачатки эволюционных представлений о происхождении человека имеются уже в трудах античных философов.

В XVIII в. К. Линней помещает человека в отряд приматов вместе с лемуром и высшими обезьянами. Ж.-Б. Ламарк считал, что человек произошёл от обезьяноподобных предков, перешедших от лазанья по деревьям к хождению по земле.

Крупнейшим событием в понимании истории человека как вида стала работа Ч. Дарвина «Происхождение человека и половой отбор». Эта работа великого английского учёного так же, как и его произведение «Происхождение видов», нанесла сокрушительный удар по представлениям о человеке как продукте божественного творения. Закономерности же становления человека как социального существа вскрыли только основоположники исторического материализма.

Изучением происхождения и эволюции человека, процесса перехода от биологических закономерностей, которым подчинялось существование его животных предков, к закономерностям социальным, занимается отрасль естествознания — *антропология* (от греч. *anthropos* — человек). Рассмотрим сначала положение человека в системе животного мира.

4.1. Положение человека в системе животного мира

Биогенетический закон Мюллера — Геккеля гласит, что в эмбриональном развитии организма происходит краткое и быстрое повторение филогенетических стадий формирования вида, к которому данная особь относится. Таким образом, изучение стадий эмбриогенеза позволяет нам

проследить историю возникновения и определить систематическое положение нашего вида.

В эмбриональном развитии человека есть черты, характерные для всех представителей типа Хордовые: хорда, нервная трубка на спинной стороне зародыша, жаберные щели в глотке. Развитие позвоночного столба, наличие двух пар конечностей, местонахождение сердца на брюшной стороне тела определяют принадлежность человека к подтипу Позвоночные. Четырёхкамерное сердце, сильно развитая кора головного мозга, теплокровность, млечные железы, волосы на поверхности тела, зубы трёх видов (коренные, клыки, резцы) свидетельствуют о принадлежности человека к классу Млекопитающие.

Развитие плода в теле матери и питание его через плаценту характерны для подкласса Плацентарные. Такие признаки, как конечности хватательного типа (первый палец противопоставлен остальным), ногти на пальцах, одна пара сосков млечных желёз, хорошо развитые ключицы, замена молочных зубов на постоянные в процессе онтогенеза, рождение, как правило, одного детёныша, определяют положение человека в отряде Приматы.

Более частные признаки — редукция хвостового отдела позвоночника, аппендикс, большое число извилин на полушариях головного мозга, четыре основные группы крови (0, A, B, AB), развитие мимической мускулатуры и ряд других — позволяют отнести человека к подотряду Человекообразные обезьяны. Животное происхождение человека подтверждается целым рядом свойств. Они указывают на то, что человек является результатом длительной эволюции позвоночных.

В эмбриональном периоде развития у зародыша человека закладываются двухкамерное сердце, шесть пар жаберных дуг, хвостовая артерия — признаки рыбообразных предков. От амфибий человек унаследовал плавательные перепонки между пальцами, которые имеются у зародыша.

Слабая терморегуляция у новорождённых детей и детей до 5 лет указывает на происхождение от животных с непостоянной температурой тела. Головной мозг плода гладкий, без извилин, как у низших млекопитающих мезозойской эры. Также у шестинедельного зародыша имеется несколько пар млечных желёз. У него складывается также хвостовой отдел позвоночника, который затем редуцируется и превращается в копчик.

Таким образом, основные черты строения и эмбрионального развития чётко определяют положение вида Человек разумный в классе Млекопитающие, отряде Приматы, подотряде Человекообразные обезьяны. Вместе с тем человек имеет специфические, присущие только ему особенности: прямохождение, мощно развитую мускулатуру нижних конечностей, сводчатую стопу с сильно развитым первым пальцем, подвижную кисть руки, позвоночник с четырьмя изгибами, расположение таза под углом 60° к горизонтали, очень большой и объёмистый мозг, крупные размеры мозгового и малые размеры лицевого черепа, ограниченную плодовитость, плечевой сустав, допускающий движения с размахом почти до 180°, и некоторые другие. Эти особенности строения и физиологии человека — результат эволюции его животных предков.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Наблюдения за эмбриональным развитием человека показывают его родство с примитивными хордовыми животными, рыбами, амфибиями.
- Сравнительно-анатомические исследования обнаруживают множество сходных черт у человека с другими представителями класса млекопитающих.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Назовите признаки человека, позволяющие отнести его к подтипу Позвоночные.
- 2 Укажите признаки, определяющие положение человека в классе млекопитающих.
- 3 Какие признаки являются общими для человека и человекообразных обезьян?
- 4 Перечислите особенности строения, присущие только человеку.
- 5 Используя дополнительные источники информации, подготовьте сообщение о современных работах, раскрывающих проблему происхождения человека.

4.2. Эволюция приматов

Плацентарные млекопитающие возникли в самом конце мезозойской эры. От примитивных насекомоядных млекопитающих в кайнозойской эре обособился отряд приматов. В палеогене в лесах обитали лемуры и долгопяты — хвостатые животные небольших размеров. Около 30 млн лет назад появились небольшие животные, жившие на деревьях и питавшиеся растениями и насекомыми. Их челюсти и зубы были такими же, как у человекообразных обезьян (проконсул). От них произошли гиббоны, орангутаны и вымершие впоследствии древесные обезьяны — *дриопитеки* (рис. 4.1). Дриопитеки дали три ветви, которые привели к шимпанзе, горилле и человеку (рис. 4.2).

Достижения молекулярной генетики начала XXI в. демонстрируют очень большое сходство геномов человека и человекообразных обезьян (шимпанзе). Оказалось, что отличия затрагивают не более 1% генома, а по остальным 99% наследственного материала шимпанзе и человек идентичны. При изуче-



Рис. 4.1. Дриопитек

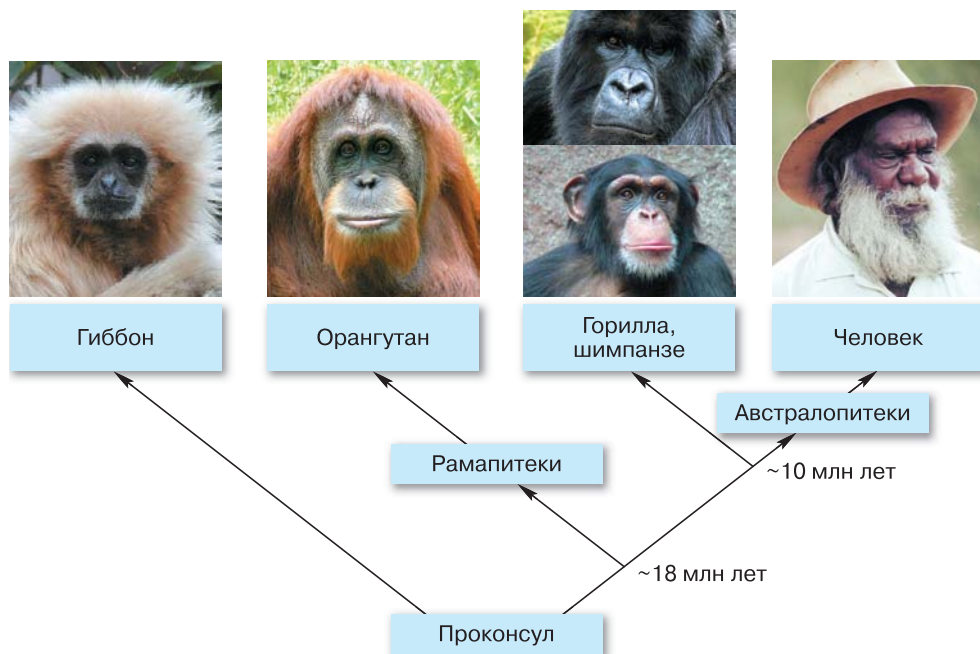


Рис. 4.2. Схема эволюции приматов

нии генетических карт хромосом шимпанзе и человека было сделано предположение о том, что значимой в эволюции человека была геномная перестройка — слияние хромосом (рис. 4.3).

В чём же в таком случае причины различий обезьян и человека и каковы механизмы эволюции человека?

Сравнительный анализ последовательностей нуклеотидов в молекулах ДНК разных видов свидетельствует о том, что кардинальных различий в количественном, да и в качественном составе генов нет. Обращает на себя внимание лишь наличие небольшого количества точковых мутаций. Например, группа генов, отвечающих за развитие и функционирование головного мозга, свидетельствует о значительных различиях.

По сути, отличие человека от шимпанзе обусловлено не столько различием наших генов и определяемых ими белков, сколько тем, что в процессе эволюции изменились время и место включения и выключения в работу генов.

Происхождение человека от обезьян, ведущих древесный образ жизни, предопределило особенности его строения, которые, в свою очередь, явились анатомической основой его способности к труду и дальнейшей социальной эволюции. Для животных, обитающих на ветвях деревьев, лазающих и прыгающих с помощью хватательных движений, необходимо соответствующее строение органов: первый палец противопоставлен в кисти остальным, развивается плечевой пояс, позволяющий совершать движения с размахом 180°, грудная клетка становится широкой и уплощённой в спинно-

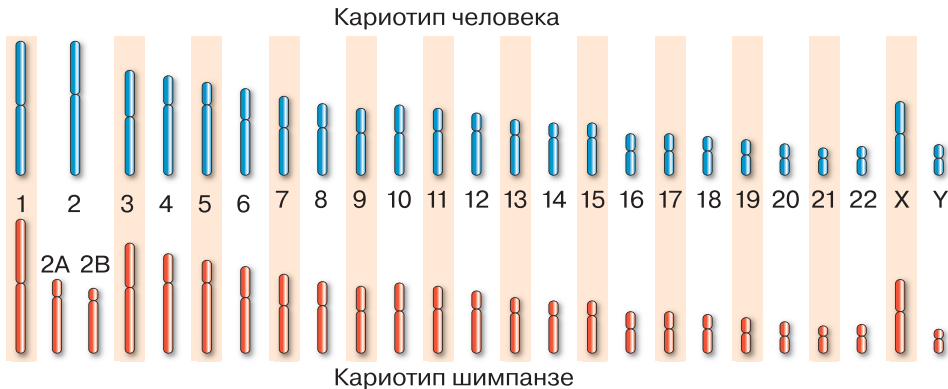


Рис. 4.3. Кариотипы человека и шимпанзе

брюшном направлении. (У наземных животных грудная клетка уплощена с боков, а конечности могут перемещаться только в передне-заднем направлении и почти не отводятся в сторону. Ключица сохраняется у приматов, рукокрылых (летучие мыши), но не развивается у быстро бегающих наземных животных.)

Передвижение на деревьях в самых разных направлениях с меняющейся скоростью, с непрерывно заново возникающим расстоянием, новой ориентировкой и новым прицелом перед прыжком привело к чрезвычайно высокому развитию двигательных отделов мозга. Необходимость точного определения расстояния при прыжках обусловило сближение глазниц в одной плоскости и появление бинокулярного зрения. В то же время жизнь на деревьях способствовала ограничению плодовитости. Уменьшение численности потомства компенсировалось тщательностью ухода за ним, а жизнь в стаде обеспечивала защиту от врагов.

Во второй половине палеогена в связи с начавшимися горообразованием процессами наступило похолодание. Тропические и субтропические леса отступили на юг, появились обширные открытые пространства. В конце палеогена ледники, сползавшие со Скандинавских гор, проникли далеко на юг. Обезьяны, не отступившие к экватору вместе с тропическими лесами и перешедшие к жизни на Земле, должны были приспосабливаться к новым суровым условиям и вести тяжёлую борьбу за существование. Беззащитные против хищников, неспособные быстро бегать — настигать добычу или спастись от врагов, лишённые густой шерсти, помогающей сохранять тепло, они могли выжить только благодаря стадному образу жизни и использованию освободившихся от передвижения рук. Решающими шагами на пути от обезьяны к человеку явились прямохождение и увеличение размеров мозга. Одна из групп обезьян, обитавших 10—12 млн лет назад, дала начало ветви, ведущей к человеку.

Эти животные, ископаемые остатки которых найдены в Южной Африке, получившие название *австралопитеки* (от лат. *australis* — южный), жили ста-

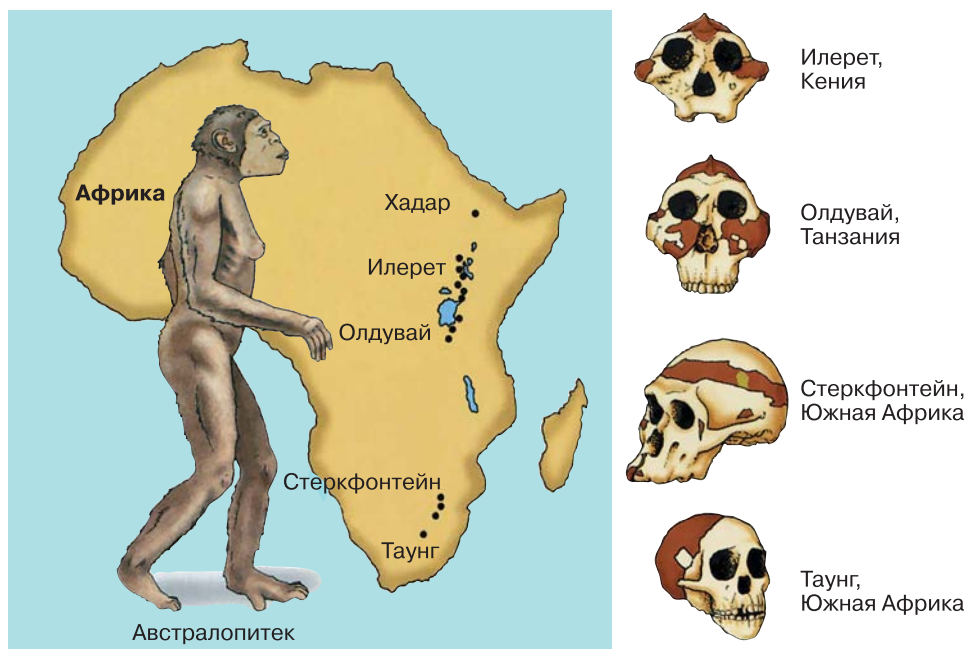


Рис. 4.4. Места основных находок останков австралопитеков в Африке

дами, имели массу 20—50 кг и рост 120—150 см (рис. 4.4, табл. 4.1). Они ходили на двух ногах при выпрямленном положении тела. В отличие от всех обезьян, строение зубной системы у них было сходно с человеческой. Масса мозга составляла 550 г, а руки были свободны. Для защиты и добывания пищи австралопитеки пользовались камнями, костями животных, т. е. имели хорошую двигательную координацию (рис. 4.5).

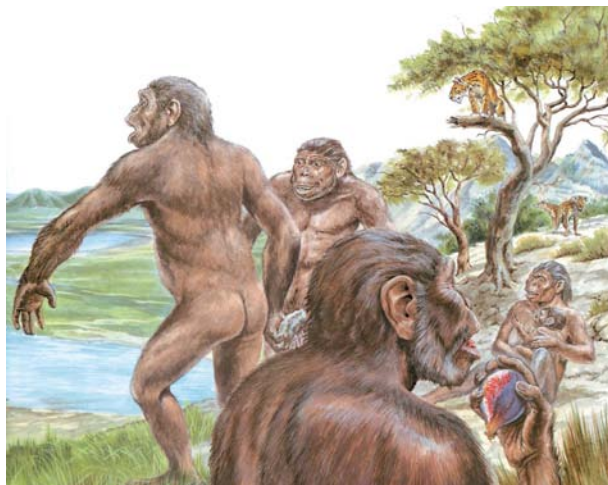


Рис. 4.5. Австралопитеки

Таблица 4.1

Основные стадии эволюции человека

Время появления признака, до н. э.	Признаки, характерные для людей	Стадия антропогенеза	Представители среди ископаемых форм	Масса мозга, г	Распространение по планете
1	2	3	4	5	6
Более 10 млн лет	Прямохождение	Отдельные ветви гоминидов	Австралопитек	Около 500	Индия, Африка
4,5—1,75 млн лет	Использование различных предметов	Прегоминидная	Австралопитек	Около 500	Африка, Азия
2—3 млн лет	Изготовление орудий		Человек умелый	750	Африка
Ранние формы — 2,6 млн лет, расцвет — 600—400 тыс. лет	Поддержание огня. Речь (примитивная, состоящая из отдельных выкриков). Простые формы коллективной деятельности	Древнейшие люди	Человек прямоходящий (питекантроп)	850—1100	Африка, Западная и Центральная Европа, Индонезия, Восточная Азия
Ранние формы — 1,5 млн лет, расцвет — 250—40 тыс. лет	Добывание огня. Сложные формы коллективной деятельности (загонная охота). Забота о ближних. Речь типа лепета	Древние люди	Неандерталец	До 1500	Европа, Африка, Азия
Менее 100—80 тыс. лет	Настоящая речь. Мышление. Искусство	Современные люди	Кроманьонец	Около 1400	Европа, Азия, Африка, Австралия, Америка
Менее 10 тыс. лет	Развитие сельского хозяйства, промышленного производства, техники, науки			Около 1400	Всесветное

Около 2—3 млн лет назад жили существа, более близкие к человеку, чем австралопитеки. Они имели массу мозга до 650 г, умели обрабатывать гальку с целью изготовления орудий. Эти человекообразные обезьяны получили название *Человек умелый*. Эволюция австралопитеков шла в направлении прогрессивного развития прямохождения, способности к труду и совершенствованию головного мозга. Естественный отбор сохранял признаки, содействовавшие развитию стадности, т. е. усилению общественного характера поисков добычи и защиты от хищных зверей, что, в свою очередь, влияло на совершенствование руки и на развитие высшей нервной деятельности (способность к обучению). Все эти особенности обеспечили победу обезьянолюдей в борьбе за существование и привели 1,5—2 млн лет назад к широкому расселению их по Африке, Средиземноморью, Южной, Центральной и Юго-Восточной Азии. Использование орудий, стадный образ жизни способствовали дальнейшему развитию мозга и возникновению речи.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Эволюция предков человека шла по пути увеличения объёма мозга, совершенствования навыков к труду и развития внутригрупповых связей.
- Прямохождение явилось важным шагом на пути от обезьяны к человеку.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 От какой группы млекопитающих произошёл отряд приматов?
- 2 От каких обезьян возникла эволюционная ветвь, ведущая к человеку?
- 3 Объясните, как черты строения и образ жизни обезьяноподобных предков предопределили развитие признаков вида Человек разумный.

4.3. Стадии эволюции человека

Признаком, отделяющим человекообразных обезьян от людей, считается масса мозга, равная 750 г. Именно при такой массе мозга овладевает речью ребёнок. Речь древних людей была очень примитивной, но она составляет качественное отличие высшей нервной деятельности человека от высшей нервной деятельности животных. В начале нашего века английские генетики обнаружили ген, действие которого непосредственно связано с членораздельной речью. Его мутация приводит людей к нарушениям артикуляции. Интересно, что этот ген отличается всего двумя однонуклеотидными замена-

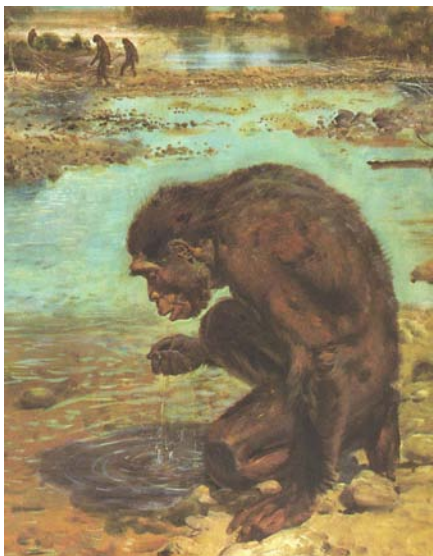


Рис. 4.6. Одна из форм древнейших людей — гейдельбергский человек, относимый к виду Человек выпрямленный (*Homo erectus*)



Рис. 4.7. Другой представитель прямоходящего человека (*Homo erectus*) — питекантроп

ми от такого же гена у шимпанзе. Таким образом появилась речь, и слово, обозначающее действия, трудовые операции, предметы, а затем и обобщённые понятия, стало важнейшим средством общения между людьми.

Речь способствовала более эффективному взаимодействию членов первобытного стада в трудовых процессах, передаче накопленного опыта от поколения к поколению, т. е. обучению. В борьбе за существование получили преимущество те первобытные стада древних людей, которые стали заботиться о стариках и поддерживать особей, ослабевших физически, но обладающих опытом и выделявшихся своими умственными способностями. Беспольные ранее старики, съедаемые соплеменниками при нехватке пищи, стали ценными членами общества как носители знания. Речь содействовала развитию процесса мышления, совершенствованию трудовых процессов, эволюции общественных отношений.

В процессе становления человека выделяют три стадии: древнейшие люди, древние люди и современные люди.

Древнейшие люди. Считается, что древнейшие люди возникли около 1,5 млн лет назад. Известно несколько форм древнейших людей: питекантроп, синантроп, гейдельбергский человек и ряд других (рис. 4.6, 4.7). Внешне они уже походили на современного человека, хотя отличались мощ-

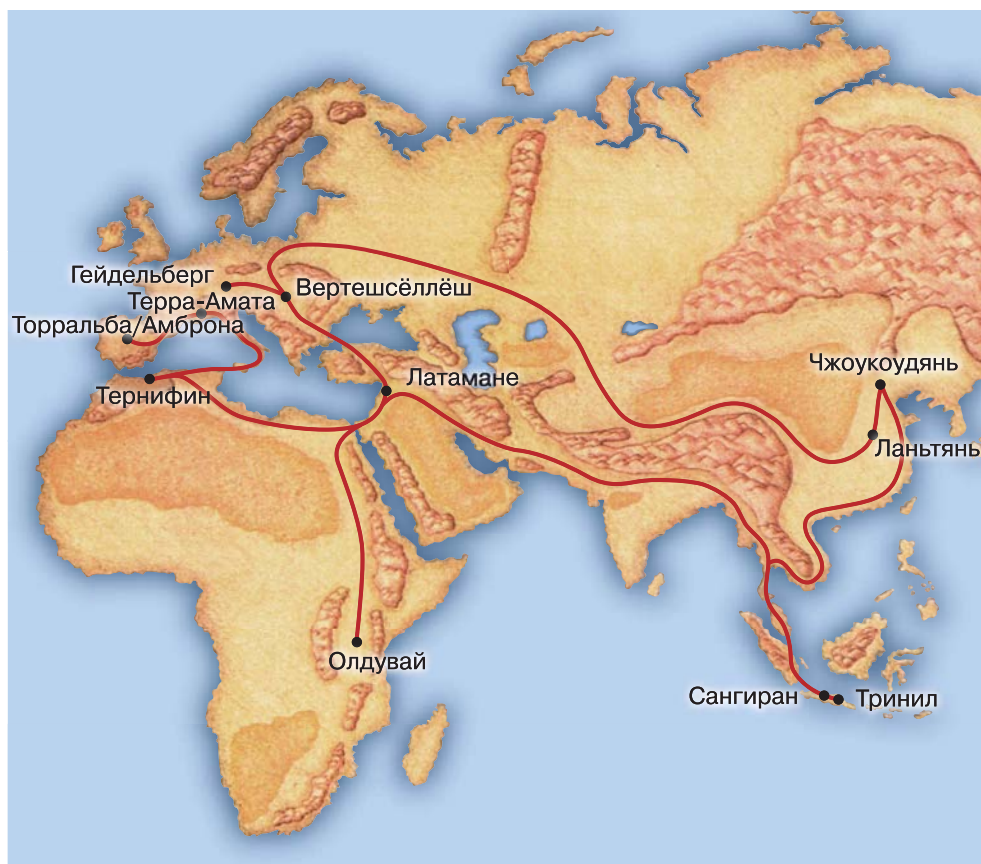


Рис. 4.8. Карта расселения древнейших людей на планете

ными надглазничными валиками, отсутствием подбородочного выступа, низким и покатым лбом. Масса их мозга достигала 800—1000 г. Мозг был устроен примитивнее, чем у более поздних форм. Древнейшие люди успешно охотились на буйволов, носорогов, оленей, птиц. С помощью отёсанных камней они разделявали туши убитых животных. Жили они в основном в пещерах и умели использовать огонь (см. табл. 4.1). Одновременно существовало довольно много форм древнейших людей, стоявших на разных ступенях развития и эволюционировавших в разных направлениях (в том числе в направлении гигантизма) и расселившихся довольно широко по планете (рис. 4.8).

Наиболее перспективным направлением эволюции было дальнейшее увеличение объёма головного мозга, развитие общественного образа жизни, совершенствование орудий труда, более широкое использование огня (не только для обогрева и отпугивания хищников, но и для приготовления пищи). Все другие формы, в том числе гиганты, быстро исчезли.

Древние люди (неандертальцы). К древним людям относят новую группу людей, появившихся менее 2 млн лет назад. Они занимают промежуточное положение между древнейшими людьми и первыми современными людьми (рис. 4.9). Неандертальцы были очень неоднородной группой. Изучение многочисленных скелетов показало, что в эволюции неандертальцев при всём разнообразии строения можно выделить две линии.

Одна линия шла в направлении мощного физического развития. Это были существа с низким скошенным лбом, низким затылком, сплошным надглазничным валиком, слабо развитым подбородочным выступом, крупными зубами. При сравнительно небольшом росте (155—165 см) они обладали чрезвычайно мощно развитой мускулатурой. Масса мозга достигала 1500 г. Полагают, что неандертальцы пользовались зачаточной членораздельной речью.

Другая группа, по-видимому произошедшая от древнейших форм, независимо от первой, характеризовалась более тонкими чертами: меньшими надбровными валиками, высоким лбом, более тонкими челюстями и более развитым подбородком. В общем физическом развитии они заметно уступали неандертальцам, но взамен у них значительно увеличился объём лобных долей головного мозга. Эта группа гоминидов боролась за существование не путём усиления физического развития, а через развитие вну-

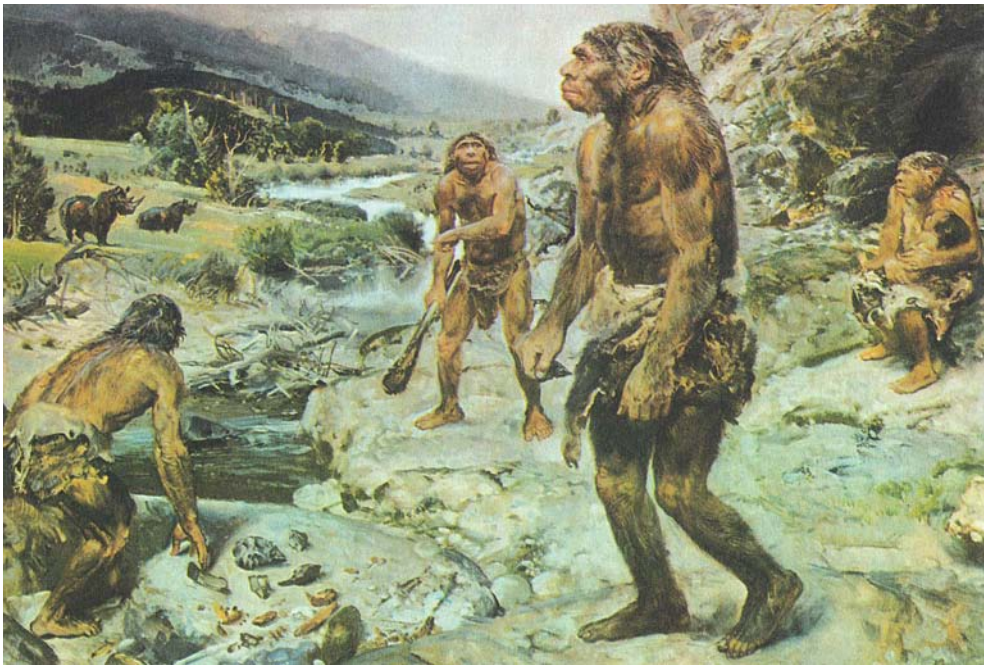


Рис. 4.9. Неандертальцы не были прямыми предками современного человека, а представляли собой боковую ветвь в эволюции человека

тригрупповых связей при охоте, при защите от врагов, неблагоприятных природных условий, т. е. через объединение сил отдельных особей.

Некоторое время неандертальцы и первые современные люди сосуществовали, а затем, примерно 28 тыс. лет назад, неандертальцы были окончательно вытеснены первыми современными людьми — кроманьонцами.

Первые современные люди (кроманьонцы). Кроманьонцы были высокого роста — до 180 см, с высоким лбом. Объём их черепной коробки достигал 1600 см³. Сплошной надглазничный валик отсутствовал (рис. 4.10).

К настоящему времени хорошо изучены, по крайней мере, несколько десятков генов, связанных с размером мозга у человека и других приматов. Мутации в этих генах у человека приводят к развитию тяжёлого заболевания — микроцефалии (от лат. *micro* — малый и греч. *anephalon* — мозг), сопровождающегося уменьшением объёма головного мозга более чем на 70%. Сравнительный генетический анализ геномов человека и человекообразных обезьян показал значительные изменения в группе этих генов на протяжении эволюции, в особенности бурными они оказались во время расхождения человека и обезьян.

Компьютерное сравнение геномов позволило выявить ещё более двухсот регуляторных генов, обуславливающих включение и выключение расположенных рядом с ними выше описанных генов.

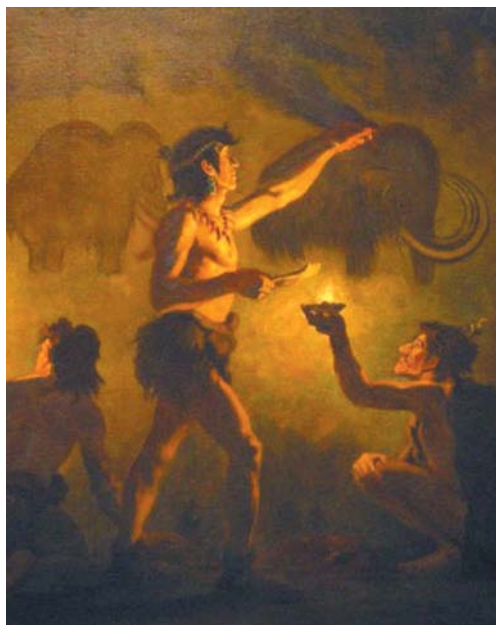


Рис. 4.10. Кроманьонец — представитель вида Человек разумный (*Homo sapiens*) и его образ жизни

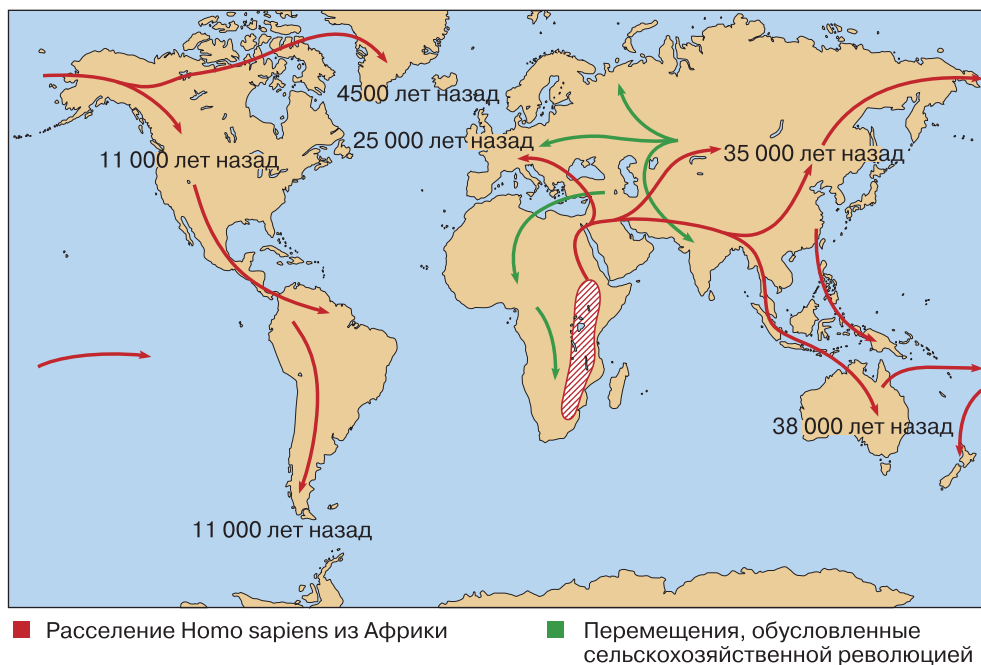


Рис. 4.11. Пути расселения человека разумного

Таким образом, несмотря на то, что количество генов, определяющих развитие мозга, невелико, изменения в них могут значительно изменять человеческий мозг путём влияния на активность множества взаимодействующих генов.

Кроманьонцы владели членораздельной речью, о чём свидетельствует хорошо развитый подбородочный выступ. Хорошо развитый мозг, общественный характер труда привели к резкому уменьшению зависимости человека от внешней среды, установлению контроля над некоторыми сторонами среды обитания, появлению абстрактного мышления и попыткам отражения окружающей их действительности в художественных образах: наскальных рисунках, вырезании фигурок из кости и т. п. Люди современного типа широко расселились по Земле и проникли в Америку и Австралию (рис. 4.11).

Эволюция человека вышла из-под ведущего контроля биологических факторов и приобрела социальный характер. Основные этапы становления человека изображены на рисунке 4.12.

Роль труда в происхождении человека. Такие особенности человека, как высокоразвитая центральная нервная система и речь как средство общения людей, разделение функций верхних и нижних конечностей, неспециализированная рука, способная производить сотни разнообразных и тонких

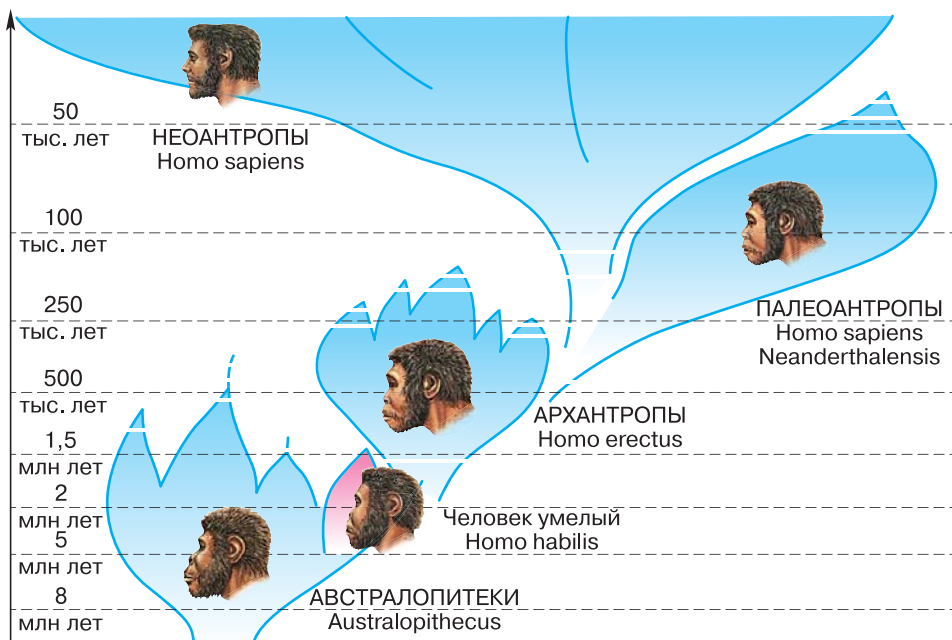


Рис. 4.12. Основные этапы становления человека

движений, возникновение общества взамен стада, явились результатом трудовой деятельности человека. На это качественное своеобразие эволюции человека указал Ф. Энгельс в работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека». Подобные традиционные представления нашли подтверждение в молекулярно-генетических исследованиях генома человека. Одна из регуляторных областей генетического материала человека претерпела по сравнению с человекообразными обезьянами наибольшие изменения. Оказалось, что человеческая версия генов позволяет управлять активностью генов в запястье и большом пальце руки, а предковая форма регуляторных генов делать этого не может. Такой факт указывает на морфологические изменения руки человека, позволившие людям соблюдать точность и ловкость, необходимые для производства и использования тонких и сложных орудий труда.

4.4. Современный этап эволюции человека

Всё современное человечество принадлежит к одному виду. Единство человечества вытекает из общности происхождения, сходства строения и плодовитости потомства, браков между представителями разных рас.

Уровень физического и умственного развития не зависит от принадлежности человека к той или иной расе.

Внутри вида *Homo sapiens* выделяют три большие расы: *негроидную* (чёрную), *европеоидную* (белую), *монголоидную* (жёлтую). Каждая из них делится на малые расы (рис. 4.13).

Различия между расами сводятся к особенностям цвета кожи, волос, глаз, формы носа, губ и т. д. Эти различия возникли в процессе приспособления человеческих популяций к местным природным условиям. Для современного этапа эволюции человека (последние 30—40 тыс. лет) характерно резкое снижение роли биологических факторов. Для эволюции животных решающее значение имеет изменение условий обитания, к которым популяции и виды приспособляются путём естественного отбора. Чел-

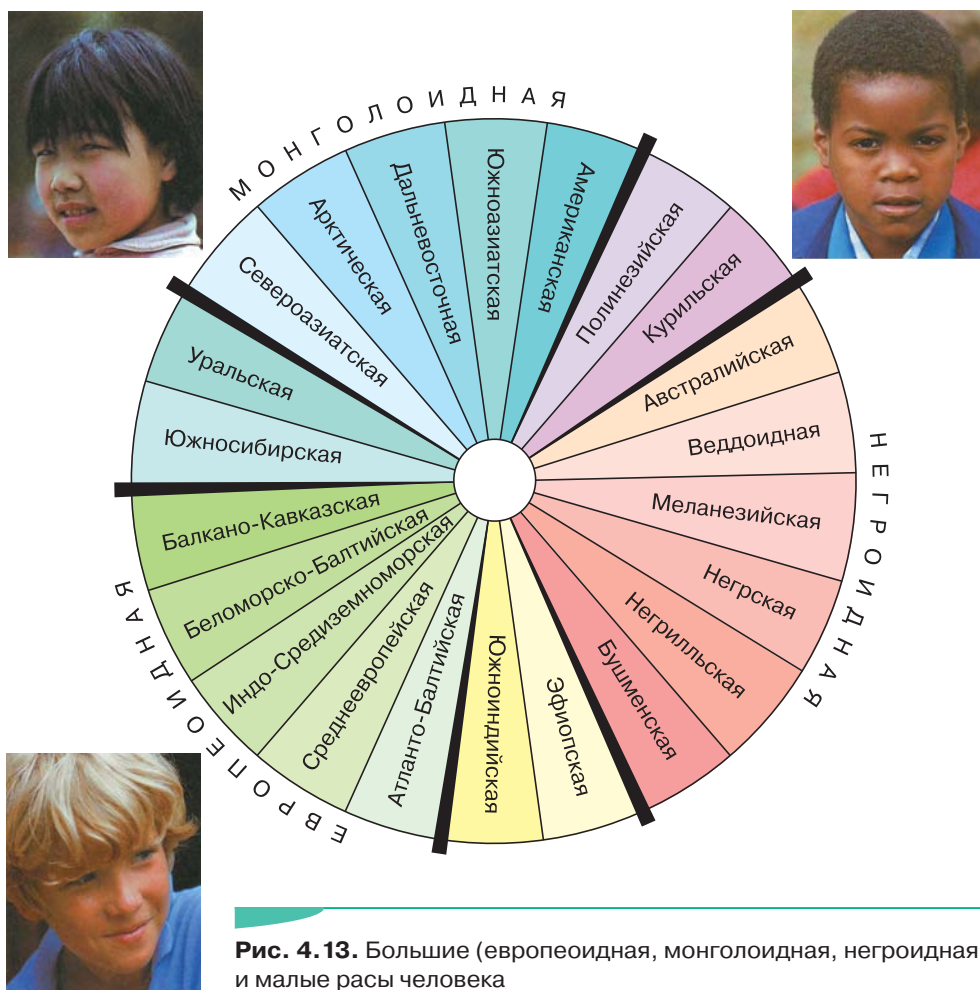


Рис. 4.13. Большие (европеоидная, монголоидная, негроидная) и малые расы человека

веческие сообщества сами создают для себя среду обитания, освобождаясь тем самым от движущей формы естественного отбора.

Обратим внимание на то обстоятельство, что наиболее крупное оледенение четвертичного периода — 250 тыс. лет назад — совпало с решающим событием в биологической эволюции человека — возникновением сложных форм коллективной деятельности. В суровых условиях ледникового периода только такие формы деятельности и могли обеспечить выживание питекантропов и обусловить переход их к более высокому уровню развития — неандертальцам.

После возникновения современного человека климатические условия также подверглись достаточно резким колебаниям. Новое оледенение, кульминация которого приходится на период 17—16 тыс. лет назад, уже не повлияло на физический тип человека, так как человеческое общество к тому времени путём совершенствования коллективных форм деятельности и материальной культуры сумело противостоять неблагоприятным условиям среды.

Таким образом, ведущую роль в эволюции человечества стали играть социальные факторы, однако жизнедеятельность каждого отдельного человека подчинена биологическим законам. Сохраняет своё значение и мутационный процесс как источник генотипической изменчивости. В известной мере действует стабилизирующая форма естественного отбора, устраняя резко выраженные отклонения от средней нормы. Примером действия стабилизирующего отбора служат повышенная смертность недоношенных детей вследствие снижения жизнеспособности, повышенная смертность мальчиков в первые годы после рождения вследствие фенотипического проявления неблагоприятных аллелей, локализованных в X-хромосоме. Благодаря существованию вредных аллелей, приводящих в гомозиготном состоянии к смерти до наступления репродуктивного возраста или препятствующих оставлению потомства, примерно половина зигот, образующихся в каждом поколении людей, не участвует в передаче генов следующему поколению и устраняется из генофонда вида. Около 20% людей вследствие физических особенностей, особенностей поведения, характера, состояния здоровья не вступают в брак. Если родители плодовиты, около 15% зачатых организмов гибнет до рождения, 5% — при рождении и непосредственно после рождения, 3% людей умирают, не достигнув половой зрелости. Эти цифры показывают, как велик «груз» вредных мутаций в генофонде человечества и сколь эффективен стабилизирующий отбор, отмечающий нежизнеспособные генотипы.

В наше время изоляция как эволюционный фактор утрачивает своё значение для человека. Исчезновение классовых, религиозных, расовых и других барьеров, повышение частоты смешанных браков усиливают генотипическое разнообразие человечества. В процессе социальной эволюции создаются всё более благоприятные возможности для раскрытия индивидуальности каждого человека. Общественный характер труда позволил человеку выделиться из природы, создать для себя искусственную среду обитания.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- В процессе эволюции человека выделяют древнейших людей, древних людей — неандертальцев и первых современных людей — кроманьонцев.
- Развитие человека сопровождалось увеличением объёма головного мозга и, как следствие, совершенствованием трудовых навыков, появлением членораздельной речи и развитием коммуникаций в группах.
- Перестройка генома человека в процессе эволюции несёт не столько количественные, сколько качественные изменения.
- Большую роль в эволюции человека играют регуляторные элементы генома, изменяющие время и место включения и выключения структурных генов.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Охарактеризуйте прогрессивные черты в развитии древнейших людей.
- 2 Каковы генетические механизмы, обеспечивающие отличия людей от человекообразных обезьян?
- 3 Когда появились первые современные люди?
- 4 Что с позиций современной генетики привело к прогрессивному развитию мозга?
- 5 Охарактеризуйте современный этап эволюции человека.
- 6 Какая форма естественного отбора действует на человеческие сообщества?
- 7 Какие основные расы выделяют внутри вида *Homo sapiens*?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Какие признаки, развивающиеся у зародыша человека, указывают на его животное происхождение?
- 2 В каком направлении действовал естественный отбор в процессе эволюции человека?
- 3 Почему неандертальцы были вытеснены современными людьми?
- 4 Какие факторы, по мнению Ф. Энгельса, явились ведущими в эволюции первых современных людей?
- 5 В чём состоят принципиальные отличия генома человека и человекообразных обезьян?

Обзор пройденного материала главы 4

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Крупнейшим событием в понимании истории человека как вида стала работа Дарвина «Происхождение человека и половой отбор».

Основные черты строения и эмбрионального развития чётко определяют положение вида Человек разумный в типе Хордовые, подтипе Позвоночные, классе Млекопитающие, отряде Приматы, подотряде Человекоподобные обезьяны.

Сравнительный анализ геномов человека и человекообразных обезьян убедительно доказывает происхождение человека от обезьяноподобных предков.

Происхождение человека от обезьян, ведущих древесный образ жизни, предопределило особенности его строения, которые, в свою очередь, явились анатомической основой его способности к труду и дальнейшей социальной эволюции.

Решающим шагом на пути от обезьяны к человеку явилось прямохождение.

Австралопитеки жили стадами, имели массу 20—50 кг и рост 120—150 см, ходили на двух ногах при выпрямленном положении тела.

Около 2—3 млн лет назад жили существа, получившие название Человек умелый. Они имели массу мозга до 650 г, умели обрабатывать гальку с целью изготовления орудий.

Признаком, отделяющим человекообразных обезьян от людей, считается масса мозга, равная 750 г.

В процессе становления человека выделяют три стадии: древнейшие люди, древние люди, современные люди.

Считают, что древнейшие люди возникли около 1 млн лет назад. Известно несколько форм древнейших людей: питекантроп, синантроп, гейдельбергский человек и ряд других.

К древним людям относят группу людей, появившихся около 200 тыс. лет назад, — неандертальцев. Они занимают промежуточное положение между древнейшими людьми и первыми современными людьми.

40—50 тыс. лет назад появился вид Человек разумный — *Homo sapiens*.

Эволюция человека вышла из-под ведущего контроля биологических факторов и приобрела социальный характер.

Всё современное человечество принадлежит к одному виду.

Единство человечества вытекает из идентичности генома, общности происхождения, сходства строения и плодовитости потомства, браков между представителями разных рас.

Ведущую роль в эволюции человечества стали играть социальные факторы, однако жизнедеятельность каждого отдельного человека подчинена биологическим законам.

ВАША БУДУЩАЯ ПРОФЕССИЯ

■ Антропологи изучают человека как биологический вид, с точки зрения его происхождения (антропогенеза), развития, разнообразия, своеобразие (биологического) людей разного возраста, пола, разной национальной принадлежности. Во многих странах в антропологию включают и этнографию, и археологию, и целый ряд других дисциплин, а биологию человека называют также физической или биологической антропологией.

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

- 1. Какие особенности в образе жизни древнейших людей свидетельствуют об их более высоком уровне развития по сравнению с древнейшими формами?
- 2. Как связано развитие мозга и совершенствование орудий труда?
- 3. Каким образом естественный отбор действует на регуляторные гены?

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

- 1. Какими современными методами можно определить возраст предковых форм человека?
- 2. Какие механизмы лежат в основе формирования человеческих рас?
- 3. На какие факты можно опереться, доказывая ложность теории расизма?

ЗАДАНИЯ

- 1. С позиций биогенетического закона докажите животное происхождение человека.
- 2. Поясните, что такое социальные отношения, и расскажите, как они складывались на разных этапах эволюции человека.

Обзор раздела 1

Завершая изучение развития жизни на Земле, необходимо ещё раз остановиться на главных вопросах этого явления. С позиций современной науки, в свете знания, накопленного многими поколениями учёных, эволюция жизни — это очевидный факт. Споры о том, есть эволюция или её нет, кипевшие во времена Дарвина и даже в начале XX в., сейчас беспредметны. Преемственность признаков и постепенность их преобразования, например в ряду позвоночных (рыбы — амфибии — рептилии — млекопитающие — человек), уже служат убедительным доказательством развития групп живых организмов в сторону всё более сложных форм существования живой материи.

Современные методы изучения природы, сравнительный анализ геномов большого числа видов дают всё новые доказательства преемственности между низкоорганизованными и высокоорганизованными формами жизни. Так установлено, что в геноме человека примерно 98,5% генов унаследованы от наших обезьяноподобных предков, 60—70% генов принадлежат примитивным насекомоядным млекопитающим, послужившим исходной группой для эволюции всех приматов. В геноме человека есть также гены, переданные через длинный ряд промежуточных форм от рыбообразных предков и т. д. Эти современные данные убедительно подтверждают биогенетический закон, объяснявший ряд примитивных признаков в эмбриональном развитии высших форм их происхождением от низших.

Взаимоотношения организма и среды

В процессе исторического развития жизни на нашей планете возникало и исчезало очень большое количество видов, относящихся ко всем царствам живой природы. В любой исторический момент, включая настоящее время, различные систематические группы растений, животных, грибов и микроорганизмов занимают определённое место — среду обитания, получившую название биосферы, т. е. сферы Земли, заселённой живыми организмами. Понятие о биосфере впервые ввёл в науку Ж.-Б. Ламарк в 1803 г. для обозначения всей совокупности живых организмов, обитающих на земном шаре, однако, как и его эволюционная теория, представления учёного не нашли широкого признания. Лишь спустя более чем 70 лет, в 1875 г., этот термин воскресил знаменитый австрийский геолог Э. Зюсс. В биосфере живые организмы активно взаимодействуют друг с другом. Характер этих взаимодействий — предмет изучения экологии (от греч. *oikos* — дом и *logos* — наука) — науки, в основе которой лежат эволюционное учение и представления об историческом развитии живых организмов на Земле.



Биосфера, её структура и функции

...Явления жизни и явления мёртвой природы, взятые с геологической, т. е. с планетной, точки зрения, являются проявлением единого процесса.

...Мы получили в науке ряд наблюдений и достижений, которые указывают на огромное значение организмов в земной коре, в частности в химических её процессах, и которые давно заслуживают систематической сводки и научной обработки с точки зрения общего проявления свойств живого.

В. И. Вернадский



Эволюция биосферы обусловлена тесно связанными между собой тремя группами факторов: развитием нашей планеты как космического тела и протекающих в её недрах химических преобразований, биологической эволюцией живых организмов и развитием человеческого общества.

В начале прошлого века выдающийся учёный академик В. И. Вернадский разработал учение о биосфере — оболочке Земли, населённой и активно преобразуемой живыми организмами. Он распространил понятие биосферы не только на организмы, но и на среду их обитания. Выявив геологическую роль живых организмов, Вернадский показал, что их деятельность представляет собой важнейший фактор преобразования минеральных оболочек планеты: «На земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а поэтому более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом». Поэтому правильно называть биосферу оболочкой Земли, которая не только населена, но и преобразуется живыми существами. По мнению В. И. Вернадского, биосфера постепенно трансформируется в ноосферу, в которой человеческий разум, деятельность и научная мысль становятся определяющим фактором развития нашей планеты, мощной силой, сравнимой по своему воздействию на природу с геологическими процессами. Учение Вернадского о взаимоотношении природы и общества лежит в основе современного экологического сознания.

5.1. Структура биосферы

Биосфера включает: *живое вещество*, образованное совокупностью организмов; *биогенное вещество*, которое создаётся в процессе жизнедеятельности организмов (газы атмосферы, каменный уголь, нефть, известняки и др.); *косное вещество*, которое формируется без участия живых организмов; *биокосное вещество*, представляющее собой совместный результат жизнедеятельности организмов и небиологических процессов (например, почвы).

5.1.1. Косное вещество биосферы

Границы биосферы (рис. 5.1) определяются факторами земной среды, которые делают невозможным существование живых организмов. Верхняя граница проходит примерно на высоте 20 км от поверхности планеты и отграничена слоем озона, который задерживает губительную для жизни коротковолновую часть ультрафиолетового излучения Солнца.

Таким образом, живые организмы могут существовать в тропосфере и нижних слоях стратосферы. В гидросфере организмы проникают на всю глубину Мирового океана — до 10—11 км. В литосфере жизнь встречается на глубине до 3,5—7,5 км, что обусловлено температурой земных недр и уровнем проникновения воды в жидком состоянии.

Атмосфера. Газовая оболочка состоит в основном из азота и кислорода (21%). В небольших количествах в ней содержится диоксид углерода (0,03%) и озон (рис. 5.2). Состояние атмосферы оказывает большое влияние на физические, химические и биологические процессы на поверхности Земли и в водной среде. Для биологических процессов наибольшее значение имеют: кислород, используемый для дыхания и минерализации мёртвого органического вещества, диоксид углерода, участвующий в фотосинтезе, и озон, экранирующий земную поверхность от жёсткого ультрафиолетового излучения. Азот, диоксид углерода, пары воды образовались в значительной мере благодаря вулканической деятельности, а кислород — биогенным путём, в результате фотосинтеза.

Гидросфера. Вода — важный компонент биосферы и один из необходимых факторов существования живых организмов. Основная её часть (94%) находится в Мировом океане (рис. 5.3), который занимает около 70% поверхности земного шара и содержит 1300 млн/км³ воды. Поверхностные воды (озёра, реки) включают всего 0,182 млн/км³ воды, а её количество в живых организмах составляет немногим более 0,002 млн/км³. Значительные запасы воды (24 млн/км³) содержат ледники. Большое значение имеют газы, растворённые в воде: кислород и диоксид углерода. Их количество широко варьируется в зависимости от температуры и присутствия живых организмов. Диоксида углерода, содержащегося в воде, в 60 раз больше, чем в атмосфере.

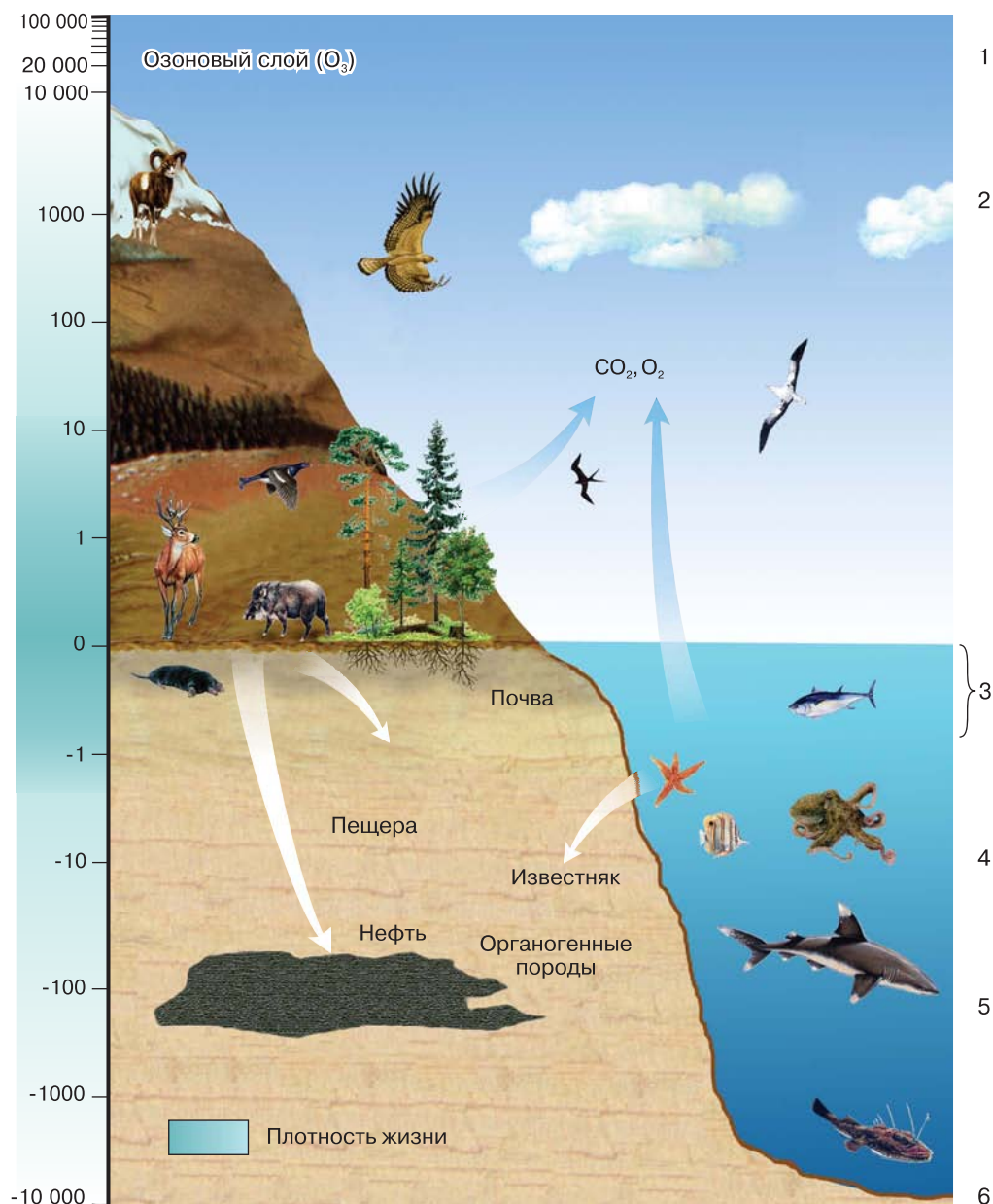


Рис. 5.1. Распространение организмов в биосфере:

1 — уровень озонового слоя, задерживающего жёсткое ультрафиолетовое излучение; 2 — граница снегов; 3 — почва; 4 — животные, обитающие в пещерах; 5 — бактерии в нефтяных скважинах; 6 — придонные организмы

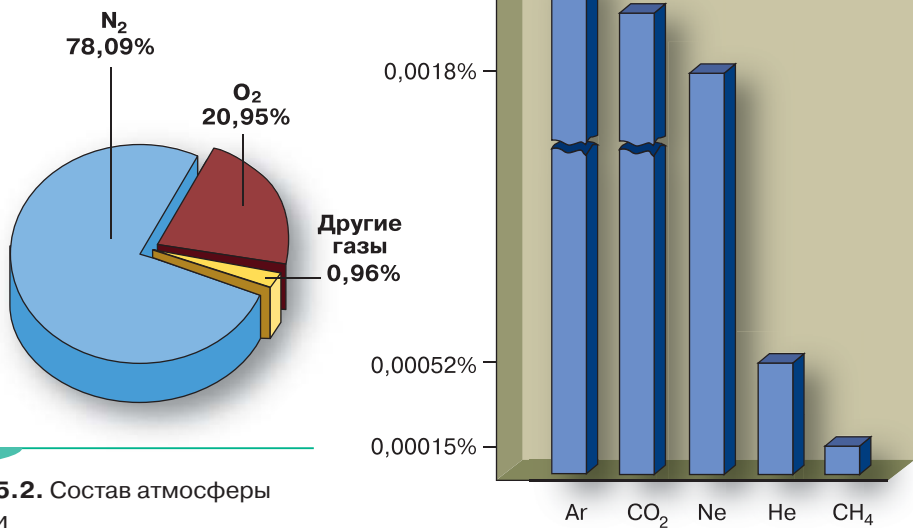


Рис. 5.2. Состав атмосферы Земли

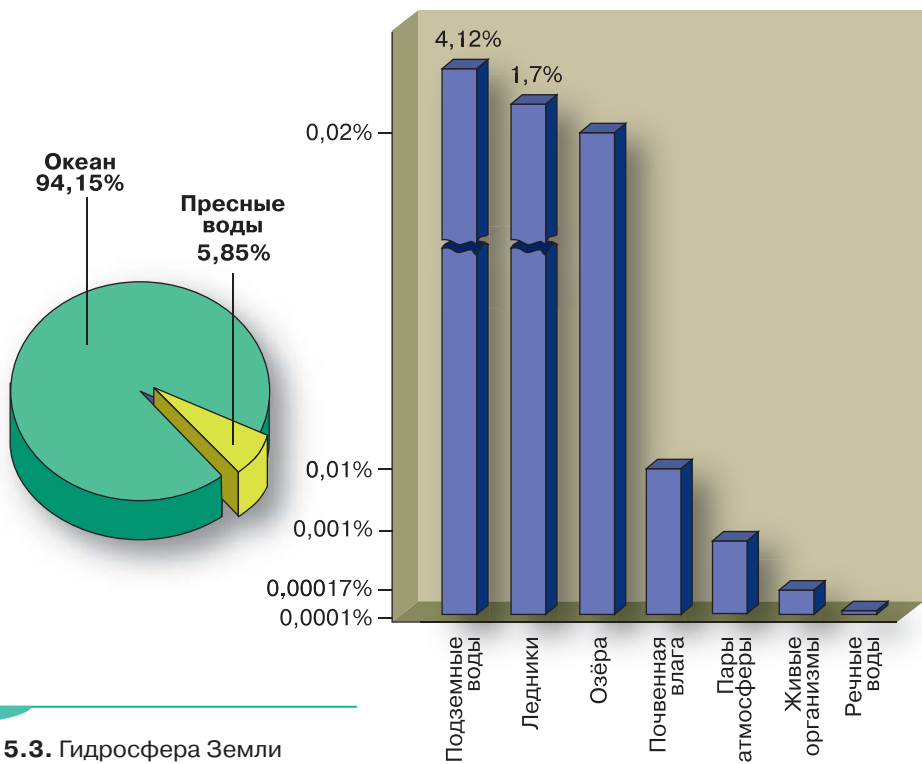


Рис. 5.3. Гидросфера Земли

ре. Гидросфера формировалась с развитием литосферы, которая в течение геологической истории Земли выделяла большое количество водяного пара.

Литосфера. Основная масса организмов, обитающих в пределах литосферы, находится в почвенном слое, глубина которого не превышает нескольких метров. Почва включает минеральные вещества, образующиеся при разрушении горных пород, и органические вещества — продукты жизнедеятельности организмов.

Многие учёные, изучающие роль минералов в геохимической предыстории происхождения (см. 10 класс, гл. 2) и развития жизни, обратили внимание на тесную взаимосвязь развития жизни и минералов на протяжении всей истории нашей планеты. Давно известно, что некоторые горные породы, например известняки, мрамор и др., возникли в результате жизнедеятельности организмов. Некоторые исследователи полагают, что и большая часть минералов, встречающихся на Земле, имеют биогенное происхождение, такие как бирюза, малахит, лазурит и некоторые другие. Это же относится и к появлению на Земле ряда полезных ископаемых, формирование которых представляется маловероятным в бескислородных условиях. Стоит отметить, что, в свою очередь, новые минералы снабжали живое вещество новой средой обитания и новыми источниками химической энергии.

5.1.2. Живые организмы (живое вещество)

Хотя границы биосферы достаточно широки, живые организмы в их пределах распределены очень неравномерно. На большой высоте и в глубинах гидросферы и литосферы организмы встречаются относительно редко. Жизнь сосредоточена главным образом на поверхности земли, в почве и в приповерхностном слое океана.

Общую массу живых организмов оценивают в $2,43 \times 10^{12}$ т. Биомасса организмов, обитающих на суше, на 92,2% представлена зелёными растениями и 0,8% — животными и микроорганизмами. Напротив, в океане на долю растений приходится 6,3%, а на долю животных и микроорганизмов — 93,7% всей биомассы. Жизнь сосредоточена главным образом на суше. Суммарная биомасса океана составляет всего $0,03 \times 10^{12}$ т, или 0,13% биомассы всех существ, обитающих на Земле.

В распределении живых организмов по видовому составу наблюдается важная закономерность. Из общего числа видов 21% приходится на растения, но их вклад в общую биомассу составляет 99%. Среди животных 96% видов — беспозвоночные и только 4% — позвоночные, из которых только десятая часть — млекопитающие. Таким образом, в количественном отношении преобладают формы, стоящие на относительно низком уровне эволюционного развития. Масса живого вещества составляет всего 0,01—0,02% от косного вещества биосферы, однако она играет ведущую роль в геохимических процессах. Вещества и энергию, необходимую для обмена веществ, организмы черпают из окружающей среды. Огромные количества живой материи воссоздаются, преобразуются и разлагаются. Ежегодно,

благодаря жизнедеятельности растений и животных, воспроизводится около 10% биомассы. Чтобы представить масштабы геохимической деятельности организмов, приведём некоторые цифры.

Ежегодная продукция живого вещества в биосфере составляет 232,5 млрд т сухого органического вещества. За это же время в процессе фотосинтеза вовлекается 46 млрд т углерода. Для этого необходимо, чтобы 170×10^9 т диоксида углерода прореагировало с 68×10^9 т воды. В процессе жизнедеятельности ежегодно вовлекается 6×10^9 азота, 2×10^9 фосфора, а также калий, кальций, магний, сера, железо и другие элементы.

Деятельность живых организмов служит основой круговорота веществ в природе.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Биосфера Земли — оболочка планеты, заселённая живыми организмами.
- Границы биосферы пролегают непосредственно под озоновым экраном и в толще земной коры на глубине 3—7 км.
- В основном жизнь сконцентрирована на поверхности земли и в приповерхностных водах Мирового океана.
- Растения составляют основную часть биомассы планеты.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Какова общая биомасса живого вещества на Земле?
- 2 Охарактеризуйте распределение живых организмов по суше.
- 3 Что означает понятие «видовой состав» биосферы?
- 4 Представители каких систематических групп животных преобладают на суше?
- 5 Какой вклад вносят позвоночные животные в биомассу океана?

5.2. Круговорот веществ в природе

Главная функция биосферы заключается в обеспечении круговорота химических элементов, который выражается в циркуляции веществ между атмосферой, почвой, гидросферой и живыми организмами.

Круговорот воды. Вода испаряется и воздушными течениями переносится на большие расстояния. Выпадая на поверхность суши в виде осадков, она способствует разрушению горных пород, делает их недоступными для растений и микроорганизмов, размывает верхний почвенный слой

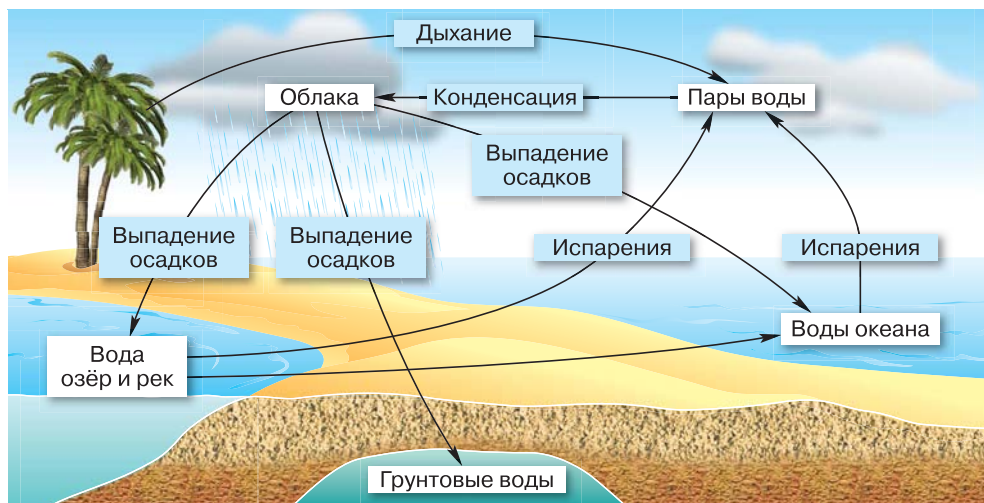


Рис. 5.4. Схема круговорота воды в биосфере

и уходит вместе с растворёнными в ней химическими соединениями и взвешенными органическими частицами в моря и океаны (рис. 5.4). Циркуляция воды между океаном и сушей представляет собой важнейшее



Рис. 5.5. Схема круговорота углерода в биосфере

звено в поддержании жизни на Земле. Благодаря этому процессу происходит постепенное разрушение литосферы, компоненты которой переносятся в моря и океаны.

Круговорот углерода. Углерод входит в состав разнообразных органических веществ, из которых состоит всё живое. В процессе фотосинтеза зелёные растения используют углерод диоксида углерода и водород воды для синтеза органических соединений, а освободившийся кислород поступает в атмосферу. Им дышат различные животные и растения, а конечный продукт дыхания — CO_2 выделяется в атмосферу (рис. 5.5).

Круговорот азота. Атмосферный азот включается в круговорот благодаря деятельности азотфиксирующих бактерий и водорослей, синтезирующих нитраты, пригодные для использования растениями (рис. 5.6). Часть азота фиксируется в результате образования оксидов во время электрических разрядов в атмосфере. Соединения азота из почвы поступают в растения и используются для построения белков. После отмирания живых организмов гнилостные бактерии разлагают органические остатки до аммиака. Хемосинтезирующие бактерии превращают аммиак в азотистую, затем в азотную кислоту. Некоторое количество азота, благодаря деятельности денитрифицирующих бактерий, поступает в воздух. Часть азота оседает в глубоководных отложениях и на длительный срок выключается из круговорота. Эта потеря компенсируется поступлением азота в воздух с вулканическими газами.

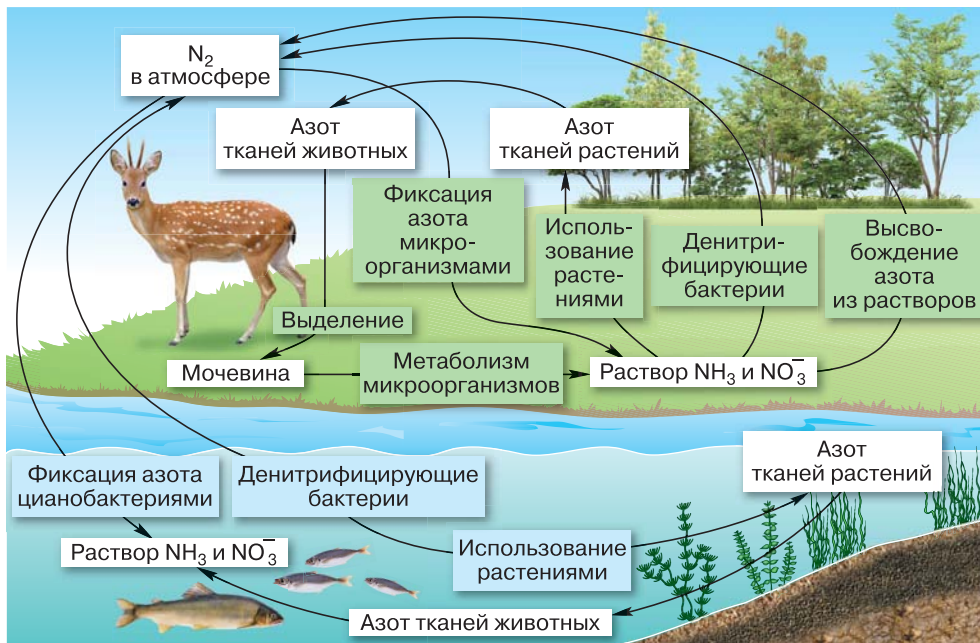


Рис. 5.6. Схема круговорота азота в биосфере

Круговорот фосфора. Фосфор сосредоточен в отложениях, образовавшихся в прошлые геологические эпохи. Постепенно он вымывается из них и попадает в экосистемы или вносится на поля как удобрение (рис. 5.7). Растения используют только часть этого фосфора; много его уносится реками в моря и снова отлагается в осадках. Вместе с выловом рыбы, содержащей этот элемент, на сушу возвращается примерно 60 000 т элементарного фосфора. Добывается же ежегодно 1—2 млн т фосфорсодержащих пород. Хотя запасы фосфорсодержащих пород велики, в будущем придётся предпринимать специальные меры для возвращения фосфора в круговорот веществ.



Рис. 5.7. Схема круговорота фосфора в биосфере

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Циркуляция воды между океаном и сушей представляет собой важнейшее звено в поддержании жизни на Земле.
- Углерод входит в состав разнообразных органических веществ, из которых состоит всё живое.
- Атмосферный азот включается в круговорот благодаря деятельности азотфиксирующих бактерий и водорослей, синтезирующих нитраты, пригодные для использования растениями.
- Сера входит в состав ряда аминокислот и представляет собой жизненно важный элемент.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 В чём заключается главная функция биосферы?
- 2 Расскажите о круговороте воды в природе.
- 3 Какие организмы поглощают диоксид углерода из атмосферы?
- 4 Каким путём связанный углерод вновь возвращается в атмосферу?
- 5 Опишите круговорот азота в природе.
- 6 Какую роль играют микроорганизмы в круговороте серы?
- 7 Как деятельность человека влияет на круговорот серы, фосфора?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Каким образом формируется биокосное вещество биосферы?
- 2 Как скоро образуются скопления биокосного вещества?
- 3 В чём заключается влияние изменений компонентов атмосферы, литосферы и гидросферы на гомеостаз биосферы в целом?

Обзор пройденного материала главы 5

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выделение уровней организации живой материи позволяет наиболее полно характеризовать отдельные проявления жизнедеятельности, являющиеся основой выработки обобщённых представлений о жизни.

Виды живых организмов интегрированы в сообщества — биоценозы, в которых связаны пищевыми и многими другими взаимодействиями.

Совокупность биоценозов формирует биосферу в целом. В биосфере живые организмы осуществляют непрерывный обмен веществ — круговорот элементов и молекул.

«На земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а поэтому более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом».

Биосфера включает: живое вещество, биогенное вещество, косное вещество и биокосное вещество.

Границы биосферы определяются факторами земной среды, которые делают невозможным существование живых организмов.

Жизнь сосредоточена главным образом на поверхности земли, в почве и в приповерхностном слое океана.

В биосфере в количественном отношении преобладают формы, стоящие на относительно низком уровне эволюционного развития.

Ежегодно благодаря жизнедеятельности растений и животных производится около 10% биомассы.

Главная функция биосферы заключается в обеспечении круговорота химических элементов, который выражается в циркуляции веществ между атмосферой, почвой, гидросферой и живыми организмами.

ВАША БУДУЩАЯ ПРОФЕССИЯ

Современная биология — комплекс наук, изучающих живую природу как особую форму движения материи, законы её существования и развития. Знания, полученные на уроках биологии, помогут и в повседневной жизни. Кроме этого, биология — основа многих профессий. Такие специалисты, как учителя биологии, агрономы, садоводы, декораторы, продавцы цветов, врачи, фармацевты, гидробиологи, рыбоводы, егеря, ветеринары, сотрудники зоологического музея, углублённо изучают биологию в различных её проявлениях. Среди этих профессий есть и экологи — специалисты, которые пытаются объяснить, почему высыхают реки, гибнет рыба или летом выпадает снег. Они изучают состоя-

ние воды, почвы, воздуха, влияние промышленных отходов на растения, животных и человека. Если содержание вредных веществ выше критического уровня, они выявляют причины, составляют прогноз развития ситуации. Специалисты изучают последствия запуска космических ракет, контролируют деятельность вредных производств, следят за утилизацией радиоактивных отходов. Они выясняют причины природных катаклизмов и разрабатывают пути наименьшего воздействия людей на природу.

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

1. В чём заключается геохимическая роль живых организмов? Приведите примеры.
2. Как и почему изменяется плотность жизни в различных частях биосферы?
3. Охарактеризуйте верхние и нижние пределы распространения жизни в биосфере.

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

1. Каким образом живые организмы влияют на круговорот воды и других веществ и элементов?
2. В чём заключается влияние человеческой деятельности на глобальные круговороты веществ в биосфере? Проиллюстрируйте ответ примерами.
3. Насколько, по вашему мнению, велика опасность антропогенного воздействия на биосферу?

ЗАДАНИЯ

1. Как вы думаете, в чём заключается необходимость знаний особенностей и закономерностей биогенной миграции атомов?
2. Повторите материал настоящей главы и чётко сформулируйте основные понятия.

Жизнь в сообществах. Основы экологии

Везде, вплоть до покрытых льдами полюсов, воздух звенит от пения птиц и жужжания кружащихся насекомых. Не только в густых парах нижних слоёв атмосферы, но и в чистом эфире верхних слоёв всё полно жизни.

А. Гумбольдт



В этой главе вы узнаете о том, что жизнь каждого отдельного организма невозможна вне сообщества с особями, ему подобными, и другими видами живых организмов, являющимися для него пищевой базой и вступающими с ним в иные формы взаимоотношений, а также о том, как формируются такие сообщества организмов различных видов, в чём причины их устойчивости в неодинаковых условиях окружающей среды, как взаимодействуют между собой особи разных видов и какие факторы влияют на устойчивость биологических систем надвидового ранга.

Все живые организмы, населяющие нашу планету, существуют не сами по себе. Они зависят друг от друга и от окружающей среды и испытывают на себе её воздействия. Этот точно согласованный комплекс множества факторов окружающей среды и приспособления к ним живых организмов обуславливают возможность существования разнообразных форм организмов самого различного образа жизни.

Взаимосвязи и закономерности сосуществования живых организмов в природе; организацию и функционирование популяций, биоценозов, биогеоценозов и биосферы в целом; законы «здорового» состояния как нормы и основы существования жизни изучает экология. Знание истории образования, структуры сообществ живых организмов и тех факторов окружающей среды, которые оказывают воздействия на них, позволит сохранить необходимую для жизни человека среду и разумно использовать природные ресурсы.

6.1. История формирования сообществ живых организмов

Вся суша подразделяется на крупные области, называемые материками или континентами: Европу, Азию, Африку, Северную и Южную Америку, Австралию и Антарктиду. Растительный и животный мир континентов сильно различается даже в сходных климатических зонах. Чем это объяснить? Известно несколько причин, обуславливающих несходство живого мира в тех или иных местах земного шара.

Первая из них — геологическая история материков (рис. 6.1). Сотни миллионов лет назад континентов не было и суша представляла собой монолитный массив — Пангею. Около 200 млн лет тому назад, в триасовом периоде мезозойской эры, единый суперматерик раскололся на две крупные части — Лавразию и Гондвану. Последняя двинулась на юг; она включала будущие Антарктиду, Австралию, Индию, Африку и Южную Америку, которые обособились впоследствии в отдельные континенты вследствие продолжавшихся разломов и подвижек земной коры (см. рис. 6.1). Европа и Северная Америка долго ещё составляли единый материк. Такое расположение континентов сложилось к началу кайнозойской эры, т. е. ко времени около 65 млн лет назад.

Разделение материков не могло не отразиться на эволюции растений и животных. Например, Австралия обособилась ещё до появления плацентарных млекопитающих и в результате этого сохранила до наших дней яйцекладущих и сумчатых животных, которые на других материках были вытеснены более совершенными высшими зверями. В Новой Зеландии до сих пор обитает представитель давно вымершего отряда первоящеров — гаттерия. Южная Америка сравнительно недавно соединилась с Северной Панамским перешейком, поэтому её животный мир представлен броненосцами, муравьедами, ленивцами, тапирами и другими формами, которых нет ни в Северной Америке, ни в Евразии. В то же время фауна и флора Евразии и Северной Америки очень сходны вследствие того, что Берингов пролив на месте перешейка, соединявшего длительное время материки, возник в период формирования современных сообществ.

Второй фактор — изоляция. В наиболее яркой форме она характерна для островных популяций. Острова заселяются видами, способными преодолевать морские просторы и зачастую попадающими туда случайно. Поэтому видовой состав обитателей островов значительно беднее, чем на континентах в тех же широтах. Кроме этого, изоляция влияет на формирование сообществ живых организмов и на материках. Здесь в качестве ограничивающих перемещение отдельных особей и их групп факторов выступают различные географические препятствия: реки, горы, пустыни, болота и т. д. Имеет значение и индивидуальная подвижность организмов.

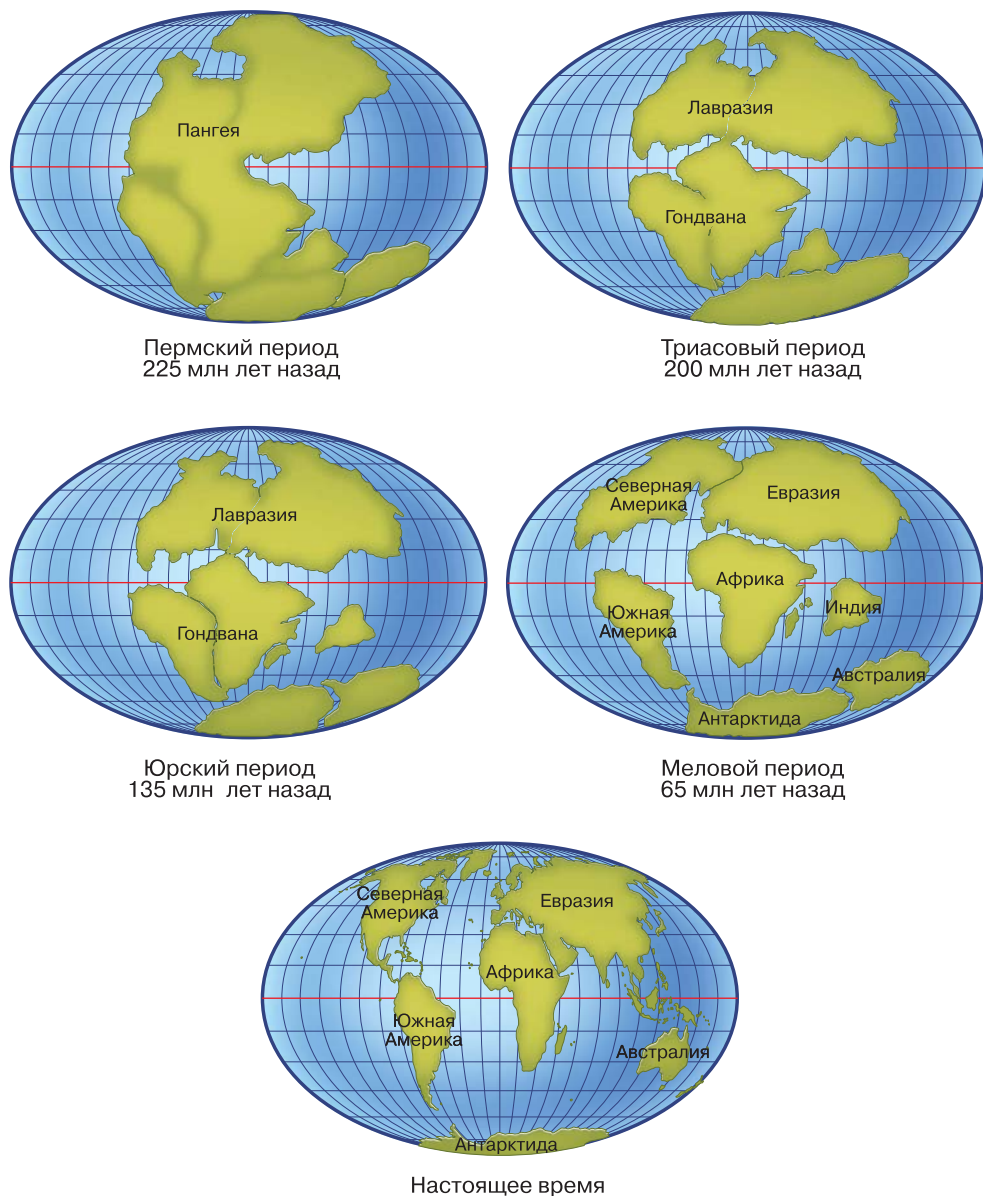


Рис. 6.1. Геологическая история материков

Третий фактор — различие климатических условий в широтном направлении. От полюсов к экватору увеличивается количество солнечной энергии, падающей на единицу земной поверхности. В зависимости от этого, т. е. от температурного режима, формируются специфические сообщества растений и животных.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- В результате подвижек и разломов коры земного шара на протяжении более чем 100 млн лет происходило формирование отдельных континентов из единого массива — Пангеи.
- Изолированные на континентах животные и растения развивались независимо от фауны и флоры других областей суши.
- Формирование сообществ происходило в различных климатических поясах и в условиях изоляции.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Каковы геологическая история материков и её последствия для эволюции растений и животных?
- 2 В чём проявляется значение климатических условий обитания в формировании сообществ живых организмов?
- 3 Как сказывается изоляция на формировании сообществ живых организмов?
- 4 В чём вы видите причины сходства фауны и флоры Евразии и Северной Америки? Южной Америки и Африки?



6.2. Биogeография. Основные биомы суши

Рассмотренные в предыдущем параграфе факторы, действующие в течение многих миллионов лет, привели к образованию на нашей планете различных биогеографических областей. Учёные выделяют шесть таких регионов: Неарктическую, Палеарктическую, Восточную, Неотропическую, Эфиопскую и Австралийскую области. Некоторые из них захватывают подчас несколько материков и характеризуются определённым комплексом биомов (от греч. *bios* — жизнь и лат. *oma* — совокупность), вносящих свой конкретный вклад в биосферу Земли.

Различают ряд основных биомов суши. Названия большинства из них определяются типом растительности, например хвойные или лиственные леса, пустыня, тропический лес и т. д. Однако в конечном счёте фактором, определяющим тип биома, является климат, поскольку характер среды задаётся в основном температурой, количеством осадков, а также направлением и силой ветров. Например, и в Северном, и в Южном полушариях в областях, лежащих в экваториальном поясе, ветры в основном дуют в направлении к экватору. Они несут с собой влагу, которая выпадает в виде обильных дождей в тропическом поясе; в результате возникают тропические леса. Однако и к северу, и к югу от тропиков те же самые ветры являются причиной образования саванн и пустынь. Ещё дальше от экватора чере-

дующие ветры из субтропической и полярных зон создают сложную последовательность выпадения осадков в разных районах, что приводит к образованию степей и лесов умеренного пояса. Близость к океану влияет на распределение осадков, а следовательно, и на распространение типов растительности.

Одни и те же биомы встречаются по всему земному шару, на разных континентах, в различных частях света. Однако леса, степи и т. д. имеют свои характерные особенности в различных областях планеты. Различны и животные, приспособившиеся к существованию в этих биомах. Рассмотрим кратко представителей фауны и флоры, образующих биомы различных биогеографических областей.

6.2.1. Неарктическая область

Неарктическая область включает территорию всей Северной Америки, Ньюфаундленд и Гренландию (рис. 6.2, А). На севере снега и льды сменяются тундрой, а затем широким поясом хвойных лесов. Южнее следует массив лесов умеренного пояса на востоке, прерии в центральной части и смешение гор, пустынь и хвойных лесов на западе.

Тундра. Низкорослая растительность: мхи, лишайники, осоки, чахлые кустарники. Основные животные: олень, мускусный бык, лемминг, полярный заяц, песец, волк, белый полярный медведь, белая сова (рис. 6.3).

Хвойные леса. В основном густые леса из пихты, ели и других хвойных деревьев. Основные животные: лось, олень, динообраз, полёвка, землеройки, росомаха, рысь, дятлы, американские рябчики.

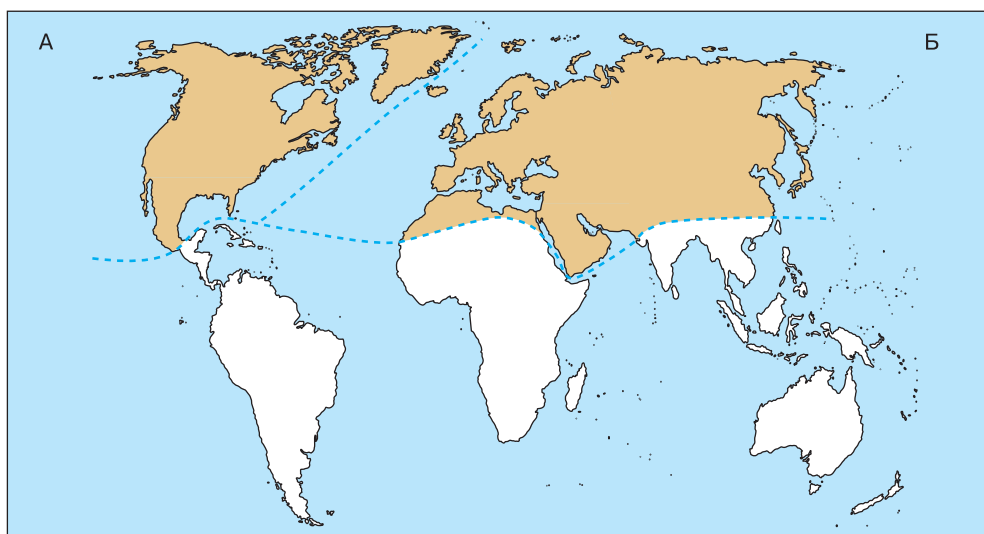


Рис. 6.2. Карта Неарктической (А) и Палеарктической (Б) областей



Рис. 6.3. Тундра

Степи. Различное сочетание травяной и кустарниковой растительности. Основные животные: бизон, антилопа, дикий кролик, американский барсук, лисица, койот, степной тетерев, большое количество гремучих змей.

Лиственные леса. Широколиственные леса, имеющие плотную крону: дуб, бук, клён. Основные животные: крот, суслик, чёрная белка, енот-полоскун, опоссум, бурундук, красная американская лисица, чёрный медведь, певчие птицы.

Жёстколистные леса. Заросли можжевельника и кустарников с кожистыми листьями. Представители фауны попадают из соседних биомов.

Пустыни. Из растений широко распространены кактусы, древовидная юкка, полынь и кустарники. Основные животные: дикий кролик, суслик, кактусовая мышь, карманчиковая мышь, кенгуровая крыса и др.

6.2.2. Палеарктическая область

Палеарктическая область включает в себя всю Евразию от Британских островов на западе до Берингова пролива на востоке и Индии и Индокитая на юге (рис. 6.2, Б). Так же как и в Неарктике, вдоль всей Палеарктики тянутся зоны вечных льдов, тундра и хвойные леса. Области с умеренным климатом в Китае и Японии, так же как и в Европе, покрыты лиственными лесами, однако видовой состав азиатских лесов богаче. Центральные районы Азии засушливы и безлесны. Животные севера Палеарктики близкородственны

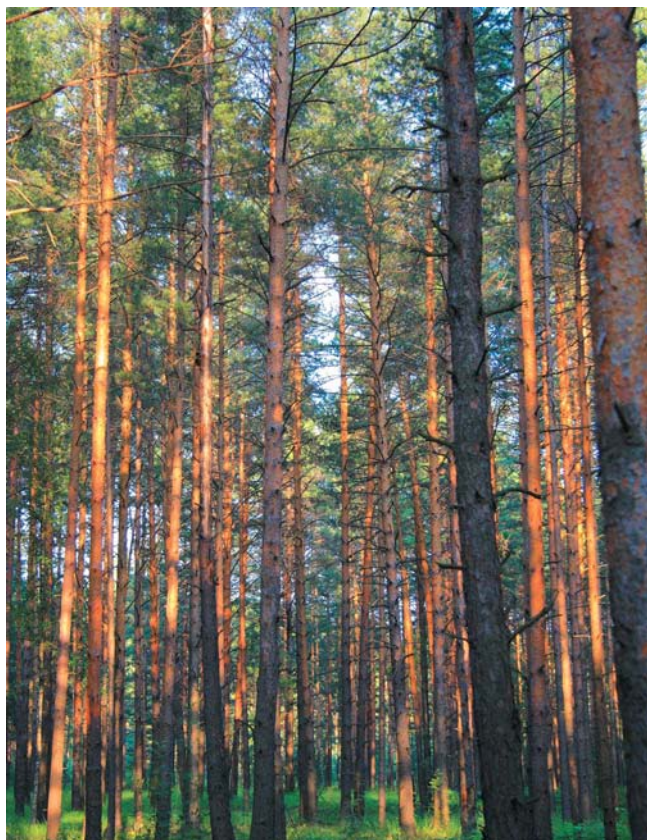


Рис. 6.4. Сосновый бор

неарктическим, а на юге встречаются формы, характерные для Восточной области.

Тундра. В тундре и флора и фауна существенно не отличаются от обитателей этой зоны в Неарктической области.

Хвойные леса. Древесные породы, составляющие эти леса, — сосна, пихта, ель — принадлежат к тем же родам, что и соответствующие деревья Неарктики, но представляют собой отличные от них виды (рис. 6.4). То же самое относится и к животным — рыси, росомaxe, лосю.

Степи. Травы примерно такие же, как и в Неарктике (рис. 6.5). Типичные животные: сайгак и антилопа, дикие ослы, лошадь и верблюд, а также суслик, хомяк, тушканчик, куница, шакал.

Лиственные леса. В основном бук, клён, дуб, граб, липа, но других, нежели в Неарктике, видов. Фауна лиственных лесов также очень напоминает неарктическую.

Жёстколистные леса. Район Средиземноморья очень похож на соответствующий неарктический биом, в котором обитают животные из различных соседних сообществ.



Рис. 6.5. Степь

Пустыни. Разрозненные кустики полыни, пальчатой травы, заросли верблюжьей колючки, саксаула и тамариска. Животный мир представлен несколькими видами травоядных, а также ежами, тушканчиками, песчанками, мешётчатой крысой и хомяками. Из птиц — орлы, соколы, совы.

6.2.3. Восточная область

Включает в себя Индию и Индокитай, а также острова Цейлон, Яву, Суматру, Борнео, Тайвань и Филиппины (рис. 6.6). Все острова сплошь покрыты пышными тропическими лесами, тогда как значительная доля материковой части области занята горами с разнообразным растительным покровом, в западной Индии переходящим в сухие степи. Из всех тропических районов Восточная область наиболее бедна эндемичными (от греч. *endemos* — местный), т. е. встречающимися только в данной местности, формами, хотя и является центром происхождения и расселения позвоночных.

Тропический лес. Как и в других тропических лесах, здесь в изобилии растут сотни видов растений, образующих непроходимые заросли (рис. 6.7). Некоторые типичные растения: лианы, бамбук, манильская конопля и тик, баньян и чёрное дерево. Среди животных широко представлены приматы (гиббоны, орангутаны, мелкие сородичи обезьян), тупайя, долгопят, лори. Характерны также индийский слон, тапир, два рода носорогов, дикобраз,

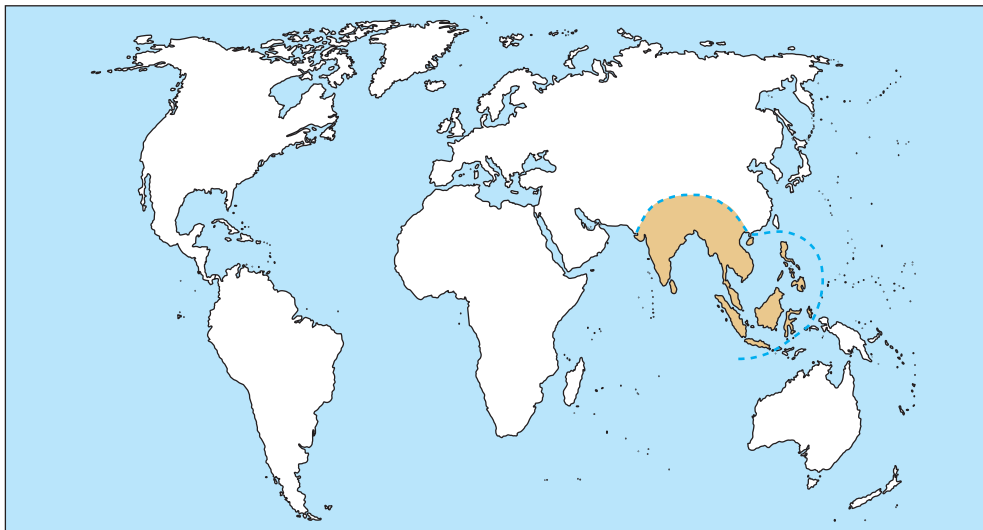


Рис. 6.6. Карта Восточной области



Рис. 6.7. Тропический лес

тигр, медведь-губач и бамбуковый медведь, олень и антилопы. Много фазанов, ядовитых змей и различных ящериц.

Влажные тропические леса характеризуются наибольшим богатством флоры, преобладанием в ней древесных видов, их разнообразием — до 100 видов на 1 га. В структуре тропического леса обычно различают 3 древесных яруса. Верхний ярус состоит из отдельных гигантских деревьев высотой 50—55 м, кроны которых не смыкаются. Деревья среднего яруса, высотой 20—30 м, образуют сомкнутый полог. В этом ярусе сосредоточена основная масса лиан и эпифитов. Благодаря разнообразию видов и жизненных форм ярусы не имеют чётких границ за счёт развитой внеярусной растительности.

По количеству видов животных тропические леса значительно превосходят леса умеренных и холодных зон, фауна тропических дождевых лесов является наиболее богатой, тем не менее количество представителей каждого отдельного вида в них небольшое. Как правило, тропические лесные животные живут на деревьях, преимущественно в кронах.

6.2.4. Неотропическая область

В состав области входят Южная и Центральная Америка, тропическая часть Мексики и острова Карибского архипелага (рис. 6.8). В континентальной Южной Америке огромные пространства покрыты тропическими лесами и степями (пампой), однако в некоторых частях континента, так же как и в Центральной Америке, существуют относительно небольшие территории, представляющие собой один из самых сложных и своеобразных рас-

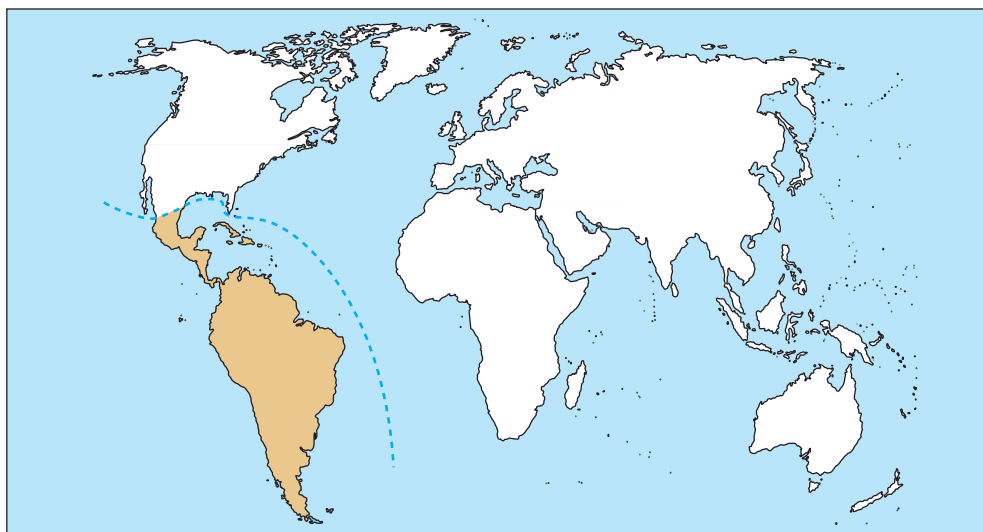


Рис. 6.8. Карта Неотропической области

тительных комплексов в мире. Поскольку эта область долгое время была полностью изолированной, её фауна, в особенности грызуны, резко отличается от животных других областей.

Тропический лес. Половина континента покрыта тропическим лесом, необыкновенно богатым лишайниками, мхами, орхидеями, бромелиевыми. Из других растений характерны капустная пальма, древовидный папоротник, тропический миндаль, бамбук, лианы. Множество мелких животных: цепкохвостые обезьяны, цепкохвостый медведь, карликовый муравьед, носуха, ленивец, карликовый олень, опоссумовая мышь, ящерицы, а также змеи, ведущие древесный образ жизни, большое число попугаев и колибри.

Степи (пампа). Растительный покров представляет собой смешение различных трав. Животный мир — нанду, пампасский олень, морская свинка, туко-туко, пампасовая кошка, южноамериканская лисица, скунсы, ласточки, парная сова.

Пустыни. Редкие травы, низкий кустарник, кактусы, юкка. Из животных — нанду, броненосцы, гриф, лисица, туко-туко.

6.2.5. Эфиопская область

В состав области входят почти вся Африка, Мадагаскар и южная часть Аравийского полуострова (рис. 6.9). Западная Африка, а также горная часть Восточной Африки в лежащих у экватора районах покрыты тропическими



Рис. 6.9. Карта Эфиопской области



Рис. 6.10. Саванна

лесами. Остальную часть Центральной Африки в основном занимают саванны и степи, простирающиеся до Сахары на север и Калахари на юго-восток. Саванны Африки с бесчисленными стадами разнообразных копытных, пасущихся на них, представляют собой самый яркий в мире образец этого биома. Многие из обитающих в африканских саваннах млекопитающих не встречаются больше нигде.

Тропический лес Африки беднее тропических лесов других частей света. Из деревьев наиболее характерна свиетения, или красное дерево, много хвелей, папоротников, лиан, орхидей и других эпифитов (от греч. *epi* — на, над и *phyton* — растение), т. е. растительных организмов, обитающих на других растениях. Из животных примечательны карликовая антилопа, карликовый бегемот, горилла, шимпанзе, зелёная мартышка и мартышка-кардинал.

Саванна. Территория этого биома в основном покрыта травами и кустарниковой растительностью, встречаются деревья: акации, баобаб, молочай и пальмы (рис. 6.10). Животный мир представлен травоядными: зебра, антилопа канна, серно-бык, антилопы бубал, гну и др. Типичны также жирафы, слон, африканский страус, белый и чёрный двурогие носороги, лев, бородавочник, гепард, гиеновая собака, суслики, златокрот.

Пустыня. Растительность состоит главным образом из трав и редких кустарников, в оазисах растут финиковые пальмы. На юге встречаются молочай и растения с клубненосными корнями. Из животных распространены газель, дикобраз, тушканчик, орёл, ящерицы.

6.2.6. Австралийская область

Австралийская область включает в себя Австралию, Тасманию, Новую Гвинею, Новую Зеландию и острова Тихого океана (рис. 6.11). В Австралии центральная часть материка представлена пустыней, окаймлённой степями и саваннами с редкими участками тропического леса. Биомы островов различны — от тропической Новой Гвинеи до сравнительно холодной Новой Зеландии. Перешейки, соединявшие когда-то отдельные участки суши, давно исчезли, и на изолированных островах возникло множество эндемичных растений и животных. Нишу, во всех частях света занятую плацентарными млекопитающими, здесь занимают сумчатые звери и отчасти бескрылые птицы (киви).

Пустыня. Основная растительность — местные формы лебеды, акации и различные эвкалипты. Из животных в пустыне обитают сумчатый крот, кенгуровая мышь, тушканчиковая сумчатая крыса, длиннохвостые попугайчики, различные ящерицы и змеи (рис. 6.12).

Саванна. В основном степи и заросли различных кустарников, эвкалиптов, в том числе красного эвкалипта и других специфических австралийских растений. Из животных наиболее характерны гигантский рыжий кенгуру и эму; встречаются также бандикуты, сумчатый кролик, вомбаты, попугаи.

Тропический лес. Типичный лес жаркого и влажного климата со сплошным пологом, многочисленными вьющимися растениями и лианами либо редкий эвкалиптовый лес. В лесах обитают древесный кенгуру, коала, опоссум, сумчатый волк, тасманийский дьявол, утконос, летучая собака, лирохвост.



Рис. 6.11. Карта Австралийской области



Рис. 6.12. Пустыня

Таким образом, весьма краткий обзор биогеографических областей земного шара показывает, что на разных континентах сообщества, относящиеся к одним и тем же типам (например, влажные тропические леса или степи, лиственный лес или тундра), населены растениями и животными, принадлежащими к разным систематическим группам. Однако эти животные и растения характеризуются сходными особенностями организации, обусловленными близкими экологическими условиями обитания. В каждом биоме имеются доминирующие, т. е. преобладающие, группы как среди типов растительных сообществ, так и между животным населением. Знание генетического родства форм, свойственных тому или иному сообществу в разных регионах нашей планеты, позволяет проследить не только развитие фауны и флоры, но и происхождение биома в целом.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- В зависимости от климатических условий формируются те или иные биомы, представленные многочисленными видами живых организмов.
- На разных континентах в силу ряда обстоятельств (климат, изоляция живых организмов) образовались крупные биогеографические области, характеризующиеся различными биомами.
- Одинаковые биомы разных биогеографических областей во многом сходны.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Чем можно объяснить различия биоты разных континентов?
Каковы причины выделения отдельных биогеографических областей на Земле?
- 2 Охарактеризуйте основные биомы суши различных биогеографических областей.
- 3 Отыщите на географической карте упомянутые в параграфе территории и отметьте их климатические условия.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Как вы думаете, каким образом сложилась бы судьба яйцекладущих и сумчатых млекопитающих, если бы Австралия и прилежащие к ней острова обособились от Гондваны в более позднее время?
- 2 Можно ли, по вашему мнению, на основе знания генетического родства форм, свойственных тому или иному сообществу в разных регионах земного шара, определить происхождение биома?

6.3. Взаимоотношения организма и среды

Живые организмы находятся в постоянном взаимодействии друг с другом и с факторами неживой природы. Видовой состав данной местности определяется историческими и климатическими условиями, а взаимоотношения организмов друг с другом и с окружающей средой — характером их питания. Основные взаимоотношения между организмами — пищевые. По типу питания все живые существа объединяют в две группы — *автотрофы* (от греч. *autos* — сам и *trophe* — пища, питание), использующие в качестве пищи неорганические соединения, и *гетеротрофы* (от греч. *heteros* — иной, другой и *trophe*), нуждающиеся в пище органического происхождения. К автотрофам относятся зелёные растения и некоторые виды бактерий, а к гетеротрофам — большинство бактерий, грибы и все животные.

Всю полноту взаимодействий и взаимозависимости живых существ и элементов неживой природы отражает учение о биогеоценозах, разработанное академиком В. Н. Сукачёвым. Он выявил причинные связи между факторами среды, структурой природных группировок и их биологической продуктивностью.

6.3.1. Естественные сообщества живых организмов

Экологическая система представляет собой единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания, в кото-

ром живые и косные экологические компоненты связаны между собой причинно-следственными отношениями, обменом веществ и распределением потока энергии. Различают естественные и искусственные экосистемы. Первые исторически сложились в процессе эволюции, вторые — созданы человеком.

Биогеоценоз — это устойчивое сообщество растений, животных и микроорганизмов, находящихся в постоянном взаимодействии с компонентами атмосферы, гидросферы и литосферы (рис. 6.13). В это сообщество поступают энергия Солнца, минеральные вещества почвы и газы атмосферы, вода, а выделяются из него теплота, кислород, диоксид углерода, продукты жизнедеятельности организмов. Основные функции биогеоценоза — аккумуляция и перераспределение энергии и круговорот веществ. Биогеоценоз — целостная саморегулирующаяся и самоподдерживающаяся система. Он включает следующие обязательные компоненты: неорганические (углерод, азот, диоксид углерода, вода, минеральные соли) и органические вещества (белки, углеводы, липиды и др.); автотрофные организмы — *продуценты* органических веществ; гетеротрофные организмы — потребители готовых органических веществ — *консументы* растительного (потребители первого порядка) и животного (потребители второго и следующих порядков) происхождения. К гетеротрофным организмам относятся разрушители — *редуценты*, или *деструкторы*, которые разлагают остатки мёртвых растений и животных, превращая их в простые минеральные соединения.

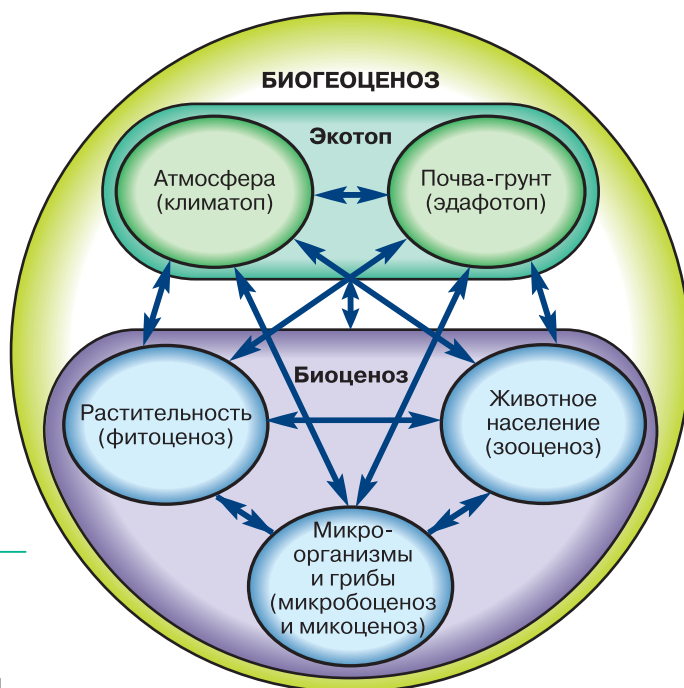


Рис. 6.13. Структура биогеоценоза и схема взаимодействия между его компонентами

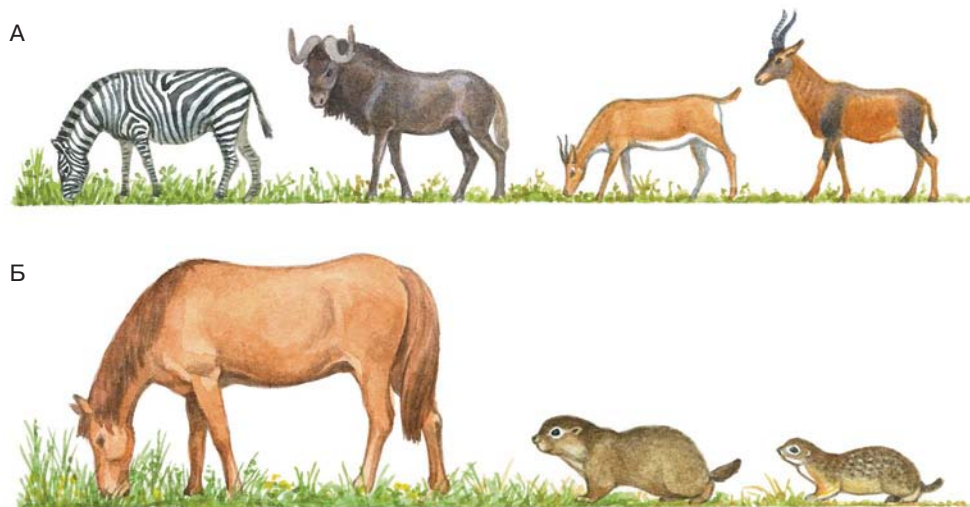


Рис. 6.14. Избирательное использование травяного покрова животными:
А — саванна; Б — степь

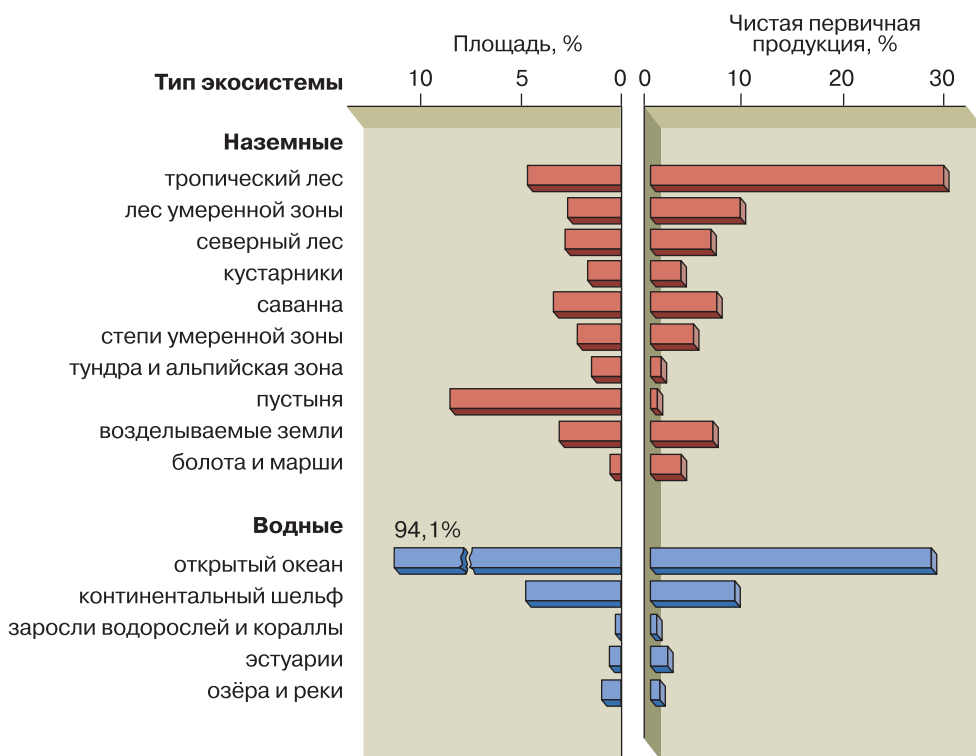


Рис. 6.15. Площадь поверхности и годовая продукция основных экосистем

Говоря о биоценозах, рассматривают только взаимосвязанные живые организмы, обитающие в данной местности. Биоценозы характеризуются видовым разнообразием, т. е. числом видов живых организмов, образующих его; плотностью популяций, т. е. числом особей каждого вида, отнесённого к единице площади или к единице объёма (для водных и почвенных организмов); биомассой — общим количеством живого органического вещества, выраженного в единицах массы.

Биомасса образуется в результате связывания солнечной энергии. Эффективность, с которой растения используют солнечную энергию, в разных биоценозах неодинакова. Суммарную продукцию фотосинтеза называют *первичной продукцией*. Растительная биомасса используется потребителями первого порядка — растительноядными животными — в качестве источника энергии и материала для создания своей биомассы; причём используется чрезвычайно избирательно (рис. 6.14), что понижает интенсивность межвидовой борьбы за существование и способствует сохранению природных ресурсов. Растительноядные животные, в свою очередь, служат источником энергии и органического материала для потребителей второго порядка — хищников и т. д. На рисунке 6.15 приведены сравнительные данные по продуктивности различных биогеоценозов. Наибольшее количество биомассы образуется в тропиках и в умеренной зоне, очень мало — в тундре и океане.

Организмы, входящие в состав биогеоценозов, испытывают влияние неживой природы — абиотических факторов, а также со стороны живой природы — биотических воздействий.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Биоценозы представляют собой целостные, саморегулирующиеся биологические системы, в состав которых входят живые организмы, обитающие на одной территории.
- Энергия солнечного света ассимилируется растениями, которые впоследствии используются животными в качестве пищи.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что такое биогеоценозы?
- 2 Из каких компонентов состоит биогеоценоз?
- 3 Охарактеризуйте понятие «биомасса».
- 4 Сравните количество биомассы, образующейся в разных климатических зонах.
- 5 Влияние каких факторов испытывают на себе организмы, составляющие биоценоз?

6.3.2. Абиотические факторы среды

Воздействие факторов среды на живые организмы в отдельности и сообщества в целом многогранно. При оценке влияния того или иного фактора среды важным оказывается характеристика интенсивности действия его на живую материю: в благоприятных условиях говорят об оптимальном факторе, а при избытке или недостатке — об ограничивающем.

Температура. Большинство видов приспособлено к довольно узкому диапазону температур. Некоторые организмы, особенно в стадии покоя, способны существовать при очень низких температурах. Например, споры микроорганизмов выдерживают охлаждение до $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отдельные виды бактерий и водорослей могут жить и размножаться в горячих источниках при температуре $+80\text{—}88\text{ }^{\circ}\text{C}$. Диапазон колебаний температуры в воде значительно меньше, чем на суше, соответственно и пределы выносливости к колебаниям температуры у водных организмов уже, чем у наземных. Однако и для водных, и для наземных обитателей оптимальной является температура в пределах $15\text{—}30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Различают организмы с непостоянной температурой тела — *пойкилотермные* (от греч. *poikilos* — различный, переменчивый и *therme* — тепло) и организмы с постоянной температурой тела — *гомойотермные* (от греч. *homoios* — подобный и *therme*). Температура тела пойкилотермных организмов зависит от температуры окружающей среды. Её повышение вызывает у них интенсификацию жизненных процессов и в известных пределах ускорение развития.

В природе температура непостоянна. Организмы, которые обычно подвергаются воздействию сезонных колебаний температур, что наблюдается в умеренных зонах, хуже переносят постоянную температуру. Резкие колебания температуры — сильные морозы или зной — также неблагоприятны для организмов. Существует много приспособлений для борьбы с охлаждением или перегревом. С наступлением зимы растения и пойкилотермные животные впадают в состояние зимнего покоя. Интенсивность обмена веществ резко снижается, в тканях запасается много жиров и углеводов. Количество воды в клетках уменьшается, накапливаются сахара и глицерин, препятствующие замерзанию. В жаркое время года включаются физиологические механизмы, защищающие от перегрева. У растений усиливается испарение воды через устьица, что приводит к снижению температуры листьев. У животных в этих условиях также усиливается испарение воды через дыхательную систему и кожные покровы. Кроме того, пойкилотермные животные избегают перегрева путём приспособительного поведения: они выбирают места обитания с наиболее благоприятным микроклиматом, в жаркое время дня скрываются в норах или под камнями, проявляют активность в определённое время суток и т. п.

Таким образом, температура окружающей среды представляет собой важный и зачастую ограничивающий жизненные проявления фактор.

Гораздо меньше зависят от температурных условий среды гомойотермные животные — птицы и млекопитающие. Ароморфные изменения строе-

ния позволили этим двум классам сохранять активность при очень резких перепадах температур и освоить практически все места обитания.

Угнетающее действие низких температур на организмы усиливается сильными ветрами.

Свет. Свет в форме солнечной радиации обеспечивает все жизненные процессы на Земле (рис. 6.16). Для организмов важны длина волны воспринимаемого излучения, его интенсивность и продолжительность воздействия (длина дня, или фотопериод). Ультрафиолетовые лучи с длиной волны более 0,3 мкм составляют примерно 40% лучистой энергии, достигающей земной поверхности. В небольших дозах они необходимы животным и человеку. Под их воздействием в организме образуется витамин D. Насекомые зрительно различают ультрафиолетовые лучи и пользуются этим для ориентации на местности в облачную погоду. Наибольшее влияние на организм оказывает видимый свет с длиной волны 0,4—0,75 мкм. Энергия видимого света составляет около 45% общего количества лучистой энергии, падающей на Землю. Видимый свет менее всего ослабляется при прохождении через плотные облака и воду. Поэтому фотосинтез может идти и при пасмурной погоде, и под слоем воды определённой толщины. Но всё же на синтез биомассы расходуется лишь от 0,1 до 1% приходящей солнечной энергии.

В зависимости от условий обитания растения адаптируются к тени (*теневыносливые растения*) или, напротив, к яркому солнцу (*светлюбивые растения*). К последней группе относятся хлебные злаки.

Чрезвычайно важную роль в регуляции активности живых организмов и их развития играет продолжительность воздействия света — *фотопериод*. В умеренных зонах, выше и ниже экватора, цикл развития растений и жи-



Рис. 6.16. Баланс солнечной радиации по земной поверхности в дневное время

вотных приурочен к сезонам года, и подготовка к изменению температурных условий осуществляется на основе сигнала длины дня, которая, в отличие от других сезонных факторов, в определённое время года в данном месте всегда одинакова. Фотопериод представляет собой как бы пусковой механизм, последовательно включающий физиологические процессы, приводящие к росту, цветению растений весной, плодоношению летом и сбрасыванию ими листьев осенью, а также к линьке и накоплению жира, миграции и размножению у птиц и млекопитающих, наступлению стадии покоя у насекомых.

Кроме сезонных изменений, смена дня и ночи определяет суточный ритм активности как целых организмов, так и отдельных физиологических процессов. Способность организмов ощущать время, наличие у них «биологических часов» — важное приспособление, обеспечивающее выживание особи в данных условиях среды.

Инфракрасное излучение составляет 45% от общего количества лучистой энергии, падающей на Землю. Инфракрасные лучи повышают температуру тканей растений и животных, хорошо поглощаются объектами неживой природы, в том числе водой.

Для продуктивности растений, т. е. образования органического вещества, наиболее важен такой показатель, как суммарное прямое солнечное излучение, получаемое за длительные промежутки времени (месяцы, год).

Влажность. Вода — необходимый компонент клетки, поэтому количество её в тех или иных местах обитания служит ограничивающим фактором для растений и животных и определяет характер флоры и фауны в данной местности. Избыток воды в почве приводит к развитию болотной растительности. В зависимости от влажности почвы (и годового количества осадков) видовой состав растительных сообществ меняется. При годовом количестве осадков 250 мм и менее развивается пустынный ландшафт. Неравномерное распределение осадков по временам года также представляет важный ограничивающий фактор для организмов. В этом случае растениям и животным приходится переносить длительные засухи. В короткий же период высокой влажности почвы происходит накопление первичной продукции для сообщества в целом. Им определяется размер годового запаса пищи для животных и сапрофагов (от греч. *sapros* — гнилой и *phagos* — пожиратель) — организмов, разлагающих органические остатки.

В природе, как правило, существуют суточные колебания влажности воздуха, которые наряду со светом и температурой регулируют активность организмов. Влажность как экологический фактор важна тем, что изменяет эффект температуры. Температура оказывает более выраженное влияние на организм, если влажность очень высока или низка. Точно так же роль влажности повышается, если температура близка к пределам выносливости данного вида. Виды растений и животных, обитающие в зонах с недостаточной степенью увлажнения, в процессе естественного отбора эффективно приспособились к неблагоприятным условиям засушливости. У таких растений мощно развита корневая система, повышено осмотическое дав-



Рис. 6.17. Опунции

ление клеточного сока, способствующее удержанию воды в тканях, утолщена кутикула листа, сильно уменьшена или превращена в колючки листовая пластинка (рис. 6.17). У некоторых растений (саксаул) листья утрачиваются, а фотосинтез осуществляется зелёными стеблями. При отсутствии воды рост пустынных растений прекращается, в то время как влаголюбивые растения в таких условиях увядают и гибнут. Кактусы способны запасать большое количество воды в тканях и экономно её расходовать. Аналогичное приспособление обнаружено у африканских пустынных молочаев, что служит примером параллельной эволюции неродственных групп в сходных условиях среды.

У пустынных животных также есть целый ряд физиологических адаптаций, позволяющих переносить недостаток воды. Мелкие животные — грызуны, пресмыкающиеся, членистоногие — извлекают воду из пищи. Источником воды служит и жир, накапливающийся у некоторых животных в больших количествах (горб у верблюда). В жаркое время года многие животные (грызуны, черепахи) впадают в спячку, продолжающуюся несколько месяцев.

Ионизирующее излучение. Излучение с очень высокой энергией, которое способно приводить к образованию пар положительных и отрицательных ионов, называется ионизирующим. Его источником являются радиоактивные вещества, содержащиеся в горных породах; кроме того, оно поступает из космоса.

Интенсивность ионизирующего излучения в окружающей среде значительно повысилась в результате использования человеком атомной энергии. Испытания атомного оружия, атомные электростанции, получение топлива для них и захоронение отходов, медицинские исследования и другие виды мирного использования атомной энергии создают локальные «горячие пятна» и образуют отходы, нередко попадающие в окружающую среду в процессе транспортировки или хранения.

Из трёх видов ионизирующего излучения, имеющих важное экологическое значение, два представляют собой корпускулярное излучение (альфа- и бета-частицы), а третье — электромагнитное (гамма-излучение и близкое ему рентгеновское излучение).

Корпускулярное излучение состоит из потока атомных или субатомных частиц, которые передают свою энергию всему, с чем они сталкиваются. Альфа-излучение — это ядра гелия, они имеют огромные по сравнению с другими частицами размеры. Длина их пробега в воздухе составляет всего несколько сантиметров. Бета-излучение — это быстрые электроны. Их размеры гораздо меньше, длина пробега в воздухе равна нескольким метрам, а в тканях животного или растительного организма — нескольким сантиметрам. Что касается ионизирующего электромагнитного излучения, то оно сходно со световым, только длина волны у него гораздо короче. Оно проходит в воздухе большие расстояния и легко проникает в вещество, высвобождая свою энергию на протяжении длинного следа. Гамма-излучение, например, легко проникает в живые ткани; это излучение может пройти сквозь организм, не оказав никакого воздействия, или же может вызвать ионизацию на большом отрезке своего пути. Биологи нередко называют радиационные вещества, испускающие альфа- и бета-излучение, «внутренними излучателями», так как они обладают наибольшим эффектом, будучи поглощёнными, заглоченными или оказавшись каким-то иным способом внутри организма. Радиоактивные вещества, испускающие преимущественно гамма-излучение, относят к «внешним излучателям», так как это проникающее излучение может оказывать действие, когда его источник находится вне организма.

Космическое и ионизирующее излучения, испускаемые природными радиоактивными веществами, содержащимися в воде и почве, образуют так называемое фоновое излучение, к которому адаптированы ныне существующие животные и растения. В разных частях биосферы естественный фон различается в 3—4 раза. Наименьшая его интенсивность наблюдается около поверхности моря, а наибольшая — на больших высотах в горах, образованных гранитными породами. Интенсивность космического излучения возрастает с увеличением высоты местности над уровнем моря, а гранитные скалы содержат больше встречающихся в природе радионуклидов, чем осадочные породы.

В целом ионизирующее излучение оказывает на более высокоразвитые и сложные организмы наиболее губительное действие, причём человек отличается особой чувствительностью.

Большие дозы, получаемые организмом за короткое время (минуты или часы), называют острыми дозами в противоположность хроническим дозам, которые организм мог бы выдержать на протяжении всего своего жизненного цикла. Воздействие низких хронических доз измерить сложнее, так как они могут вызывать отдалённые генетические и соматические последствия. Любое повышение уровня излучения в среде над фоновым или даже высокий естественный фон может повысить частоту вредных мутаций.

У высших растений чувствительность к ионизирующему излучению прямо пропорциональна размеру клеточного ядра. У высших животных не обнаружено такой простой или прямой зависимости между чувствительностью и строением клеток; для них более важное значение имеет чувствительность отдельных систем органов. Так, млекопитающие очень чувствительны даже к низким дозам вследствие лёгкой повреждаемости облучением быстро делящейся кроветворной ткани — костного мозга. Чувствителен и пищеварительный тракт, а повреждения неделящихся нервных клеток наблюдаются только при высоких уровнях облучения.

Попадая в окружающую среду, радионуклиды рассеиваются и разбавляются, но они могут различными способами накапливаться в живых организмах при движении по пищевой цепи. Радиоактивные вещества могут также накапливаться в воде, почве, осадках или в воздухе, если скорость их поступления превышает скорость естественного радиоактивного распада.

Загрязняющие вещества. Условия жизни человека и устойчивость природных биогеоценозов в течение последних десятилетий быстро ухудшаются вследствие загрязнения окружающей среды веществами, образующимися в результате его производственной деятельности. Эти вещества можно разделить на две группы: природные соединения, являющиеся отходами технологических процессов, и искусственные соединения, не встречающиеся в природе.

К первой группе относятся сернистый ангидрид (медеплавильное производство), диоксид углерода (тепловые электростанции), оксиды азота, углерода, углеводороды, соединения меди, цинка и ртути и др., минеральные удобрения (главным образом нитраты и фосфаты).

Во вторую группу входят искусственные вещества, обладающие специальными свойствами, удовлетворяющими потребности человека. Это *пестициды* (от лат. *pestis* — зараза, разрушение и *cido* — убивать), используемые для борьбы с животными — вредителями сельскохозяйственных культур; антибиотики, применяемые в медицине и ветеринарии для лечения инфекционных заболеваний. К пестицидам относятся *исектициды* (от лат. *insecta* — насекомые и *cido*) — средства для борьбы с вредными насекомыми и *гербициды* (от лат. *herba* — трава, растение и *cido*) — средства для борьбы с сорняками.

Все эти загрязняющие вещества обладают определённой токсичностью (ядовитостью) для человека. Одновременно они служат антропогенными абиотическими факторами среды, оказывающими значимое влияние на видовой состав биогеоценозов. Это влияние выражается в изменении свойств почвы (закисление, переход в растворимое состояние токсичных элементов, нарушение структуры, обеднение её видового состава); изменении свойств воды (повышенная минерализация, повышение содержания нитратов и фосфатов, закисление, насыщение поверхностно-активными веществами); изменении соотношения элементов в почве и воде, что приводит к ухудшению условий развития растений и животных.

Подобные изменения служат факторами отбора, в результате действия которых формируются новые растительные и животные сообщества с обеднённым видовым составом.

Интенсивность действия факторов среды. Некоторые свойства среды остаются относительно постоянными на протяжении длительных периодов времени. Таковы сила тяготения, интенсивность солнечного излучения, солевой состав океана, газовый состав и свойства атмосферы. Большинство же экологических факторов — температура, влажность, ветер, количество и равномерность выпадения осадков, укрытия, хищники, паразиты, конкуренты и пр. — очень изменчивы как в пространстве, так и во времени.

Изменения факторов среды по силе действия на организмы могут быть: 1) регулярно-периодическими, например, в связи со временем суток, сезоном года или ритмом приливов и отливов в океане; 2) нерегулярными, например, изменения погодных условий в разные годы, катастрофы (бури, ливни, обвалы и т. д.); 3) направленными: при похолодании или потеплении климата, зарастании водоёмов и т. д. Популяции организмов, обитающие в какой-то определённой среде, приспосабливаются к этому непостоянству путём естественного отбора. У них вырабатываются те или иные морфологические и физиологические особенности, позволяющие существовать именно в этих и ни в каких других условиях среды. Для каждого влияющего

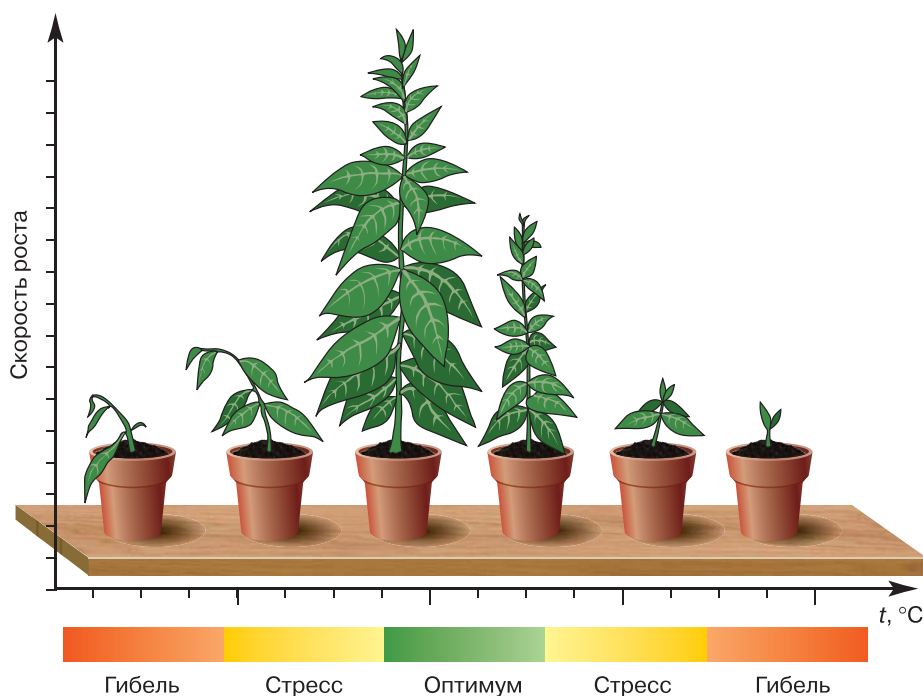


Рис. 6.18. Интенсивность действия факторов среды

на организм фактора существует благоприятная сила воздействия, называемая зоной оптимума экологического фактора или просто его оптимума (рис. 6.18). Для организмов данного вида отклонение от оптимальной интенсивности действия фактора (уменьшение или увеличение) угнетает жизнедеятельность. Границы, за пределами которых наступает гибель организма, называют верхним и нижним пределами выносливости.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Большинство видов организмов приспособлено к жизни в узком диапазоне температур; оптимальные значения температуры составляют 15—30 °С.
- Свет в форме солнечной радиации обеспечивает все процессы жизнедеятельности на Земле.
- Космическое и ионизирующее излучения, испускаемые природными радиоактивными веществами, образуют фоновое излучение, к которому ныне существующие растения и животные адаптированы.
- Загрязняющие вещества, обладая токсическим действием на живые организмы, обедняют видовой состав биоценозов.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что такое абиотические факторы среды?
- 2 Какие приспособления существуют у растений и животных к изменениям температуры окружающей среды?
- 3 Укажите, какая часть спектра видимого излучения солнца наиболее активно поглощается хлорофиллом зелёных растений.
- 4 Расскажите о приспособлениях живых организмов к недостатку воды.
- 5 Охарактеризуйте влияние различных видов ионизирующего излучения на животный и растительный организмы.
- 6 Каково влияние загрязняющих веществ на состояние биогеоценозов?

6.3.3. Взаимодействие факторов среды.

Ограничивающий фактор

На организм одновременно влияют многочисленные разнообразные и разнонаправленные факторы среды. В природе сочетание всех воздействий в их оптимальных, наиболее благоприятных значениях практически невозможно. Поэтому даже в местах обитания, где наиболее благоприятно сочетаются все (или ведущие) экологические факторы, каждый из них чаще всего несколько отклоняется от оптимума. Для характеристики действия

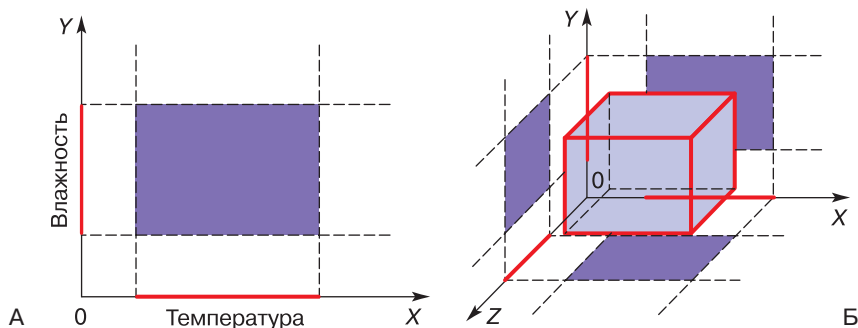


Рис. 6.19. Взаимодействие факторов среды:

А — 2^x (фиолетовым выделен оптимум); Б — 3^x (любая точка сиреневого объёма соответствует оптимальным значениям всех факторов)

факторов внешней среды на животных и растения существенно, что по отношению к одним факторам организмы обладают широким диапазоном выносливости и выдерживают значительные отклонения интенсивности фактора от оптимальной величины (рис. 6.19).

К другим факторам организмы приспособлены только в узком диапазоне их изменений и выдерживают лишь небольшие отклонения от оптимума. Например, для некоторых антарктических видов рыб, адаптированных к холоду, диапазон переносимых температур составляет всего $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (от -2 до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$). С повышением температуры до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ активность обмена веществ возрастает, но при дальнейшем её увеличении падает, и при $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ рыбы перестают двигаться, впадая в тепловое оцепенение. Широким диапазоном выносливости к колебаниям температуры обладают животные, обитающие в высоких широтах. Так, песцы в тундре могут переносить колебания температуры в пределах $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (от 30 до $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$). Устойчивы к холодам и сибирские растения. Например, даурская лиственница близ Верхоянска выдерживает зимние морозы до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Растения же тропических лесов могут существовать в достаточно узких пределах изменения температуры: её снижение до $5\text{—}8\text{ }^{\circ}\text{C}$ оказывает на них губительное действие.

По отношению к факторам среды различают виды теплолюбивые и холодолюбивые, влаго- и сухолюбивые, приспособленные к высокой или низкой солёности воды. Для водных животных большое значение имеет концентрация кислорода в воде. Некоторые виды могут существовать лишь в узких пределах колебаний содержания кислорода. Молодь речной форели хорошо развивается при концентрации кислорода 2 мг/л ; при её снижении до $1,6\text{ мг/л}$ вся форель гибнет. Другие виды рыб — сом, карп, приспособленные к обитанию в застойных водах, хорошо переносят низкое содержание кислорода.

На разных этапах онтогенеза организмы могут проявлять неодинаковую выносливость к тому или иному фактору. Например, у бабочки мельничной

огнёвки — одного из вредителей муки и зерновых продуктов — критическая минимальная температура для гусениц -7°C , для взрослых форм -22°C , а для яиц -27°C . Мороз в 10°C погубит гусениц, но будет безвреден для яиц и взрослых форм.

Отклонение интенсивности одного какого-либо фактора от оптимальной величины может сузить пределы выносливости к другому фактору. Так, при уменьшении содержания азота в почве снижается засухоустойчивость злаков. Фактор, находящийся в недостатке или избытке по сравнению с оптимальной величиной, называют *ограничивающим*, поскольку он делает невозможным процветание вида в данных условиях. Впервые на существование ограничивающих факторов указал немецкий химик Ю. Либих (1840). Природа этих факторов неодинакова: недостаток химического элемента в почве, недостаток тепла или влаги. Ограничивающими распространение факторами могут быть и биотические отношения, например занятие территории более сильным конкурентом или недостаток опылителей для растений (рис. 6.20).

Для распространения видов большое значение имеют два показателя — температурный порог развития и сумма эффективных температур. Под *эффективной температурой* понимают разницу между температурой среды и температурным порогом развития. Так, развитие икры форели начинается при 0°C , значит, эта температура служит порогом развития. При температуре воды 2°C мальки выходят из яйцевых оболочек через 205 дней, при 5°C — через 82 дня, а при 10°C — через 41 день. Во всех случаях произведение положительных температур среды на число дней развития остаётся постоянным: 410. Это и будет сумма эффективных температур.

Таким образом, для осуществления генетической программы развития животным с непостоянной температурой тела (и растениям) необходимо получать определённое количество теплоты.

И пороги развития, и сумма эффективных температур для каждого вида свои. Они обусловлены исторической приспособленностью вида к определённым условиям жизни.

От суммы температур за определённый период времени зависят и сроки цветения растений. Например, для зацветания мать-и-мачехи требуется 77 дней, для кислицы — 453, а для земляники — 500. Сумма эффективных температур, которую нужно набрать для завершения жизненного цикла, часто ограничивает географическое распространение вида. Так, северная граница древесной растительности совпадает с июльскими изотермами $10\text{—}12^{\circ}\text{C}$. Севернее уже не хватает тепла для развития деревьев,



Рис. 6.20. Бочка Либиха. Фактор, находящийся в недостатке (самое нижнее отверстие), является ограничивающим

и зона лесов сменяется тундрой. Точно так же, если в умеренной зоне хорошо растёт ячмень (его сумма температур за весь период от посева до уборки составляет 1600—1900 °С), то этого количества тепла недостаточно для риса или хлопчатника (при требуемой для них сумме температур 2000—4000 °С).

Многие факторы становятся ограничивающими в период размножения. Пределы выносливости для семян растений, яиц, эмбрионов и личинок животных обычно уже, чем для взрослых особей. Например, многие крабы могут заходить в реки далеко вверх по течению, но их личинки в речной воде развиваться не могут. Ареал промысловых птиц часто определяется влиянием климата на яйца или птенцов, а не на взрослых особей.

Выявление ограничивающих факторов очень важно в практическом отношении. Так, пшеница плохо растёт на кислых почвах, а внесение в почву извести позволяет значительно повысить урожайность.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Из множества факторов окружающей среды, оказывающих влияние на организм, лишь некоторые характеризуются оптимальными для жизнедеятельности значениями.
- Животные и растения, грибы и прокариоты приобретают в процессе эволюции приспособления к условиям существования.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что называют узким и широким диапазоном выносливости организмов?
- 2 Раскройте понятия «холодоустойчивые организмы» и «теплолюбивые организмы».
- 3 Что такое сумма эффективных температур?
- 4 Поясните, каким образом может проявиться ограничивающее действие фактора среды.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Как вы думаете, почему приспособление живых организмов к абиотическим условиям среды обитания не может быть бесконечным?
- 2 На основе знаний о взаимодействии факторов среды и об ограничивающем факторе попытайтесь создать модель искусственного сельскохозяйственного производства по выращиванию культурных растений в течение всего года.

6.3.4. Биотические факторы среды

Помимо абиотических воздействий, живые организмы испытывают на себе и влияние друг друга. Определяющими факторами в этом отношении являются видовое разнообразие сообщества и численность популяций, образующих биоценоз.

Видовое разнообразие биоценозов. Каждый живой организм живёт в окружении множества других, вступая с ними в самые разнообразные отношения, как с положительными, так и с отрицательными для себя последствиями. Связь с организмами других видов обеспечивает питание, возможность защиты, смягчает неблагоприятные условия среды; взаимодействие с представителями своего вида — размножение. В то же время биотическое окружение — это и опасность ущерба или гибели.

Рассмотрим два примера биоценозов. На рисунке 6.21 изображено население пресноводного водоёма. В неглубоких водоёмах, прудах, мелких озёрах солнечный свет проникает до дна, создавая условия для развития водорослей и высших водных растений. В толще воды обитают многочисленные одноклеточные водоросли, нитевидные, многоклеточные водоросли. На поверхности воды в летнее время встречаются скопления тины — это тоже водоросли. Вблизи берегов растёт водяной хвощ, на поверхности воды можно встретить водяной папоротник — сальвинию. Обильно представлены цветковые растения: камыш, тростник, рогоз, обитающие у берегов. На поверхности воды плавают листья и цветки белой кувшинки или жёлтой кубышки. Нередко вся поверхность прудов покрыта мелкими пластинками ряски. Часто можно встретить и многие другие водные растения, например пузырчатку, роголистник.

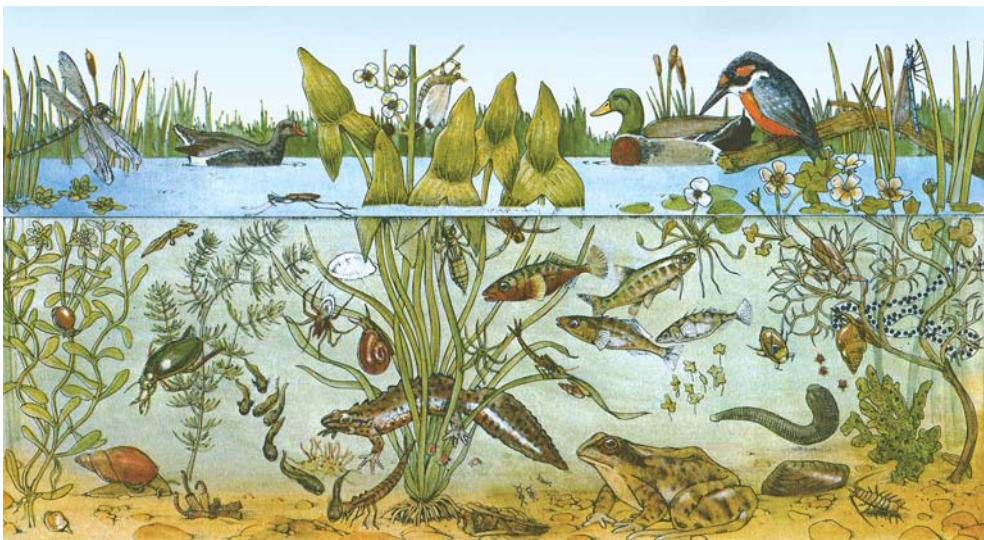
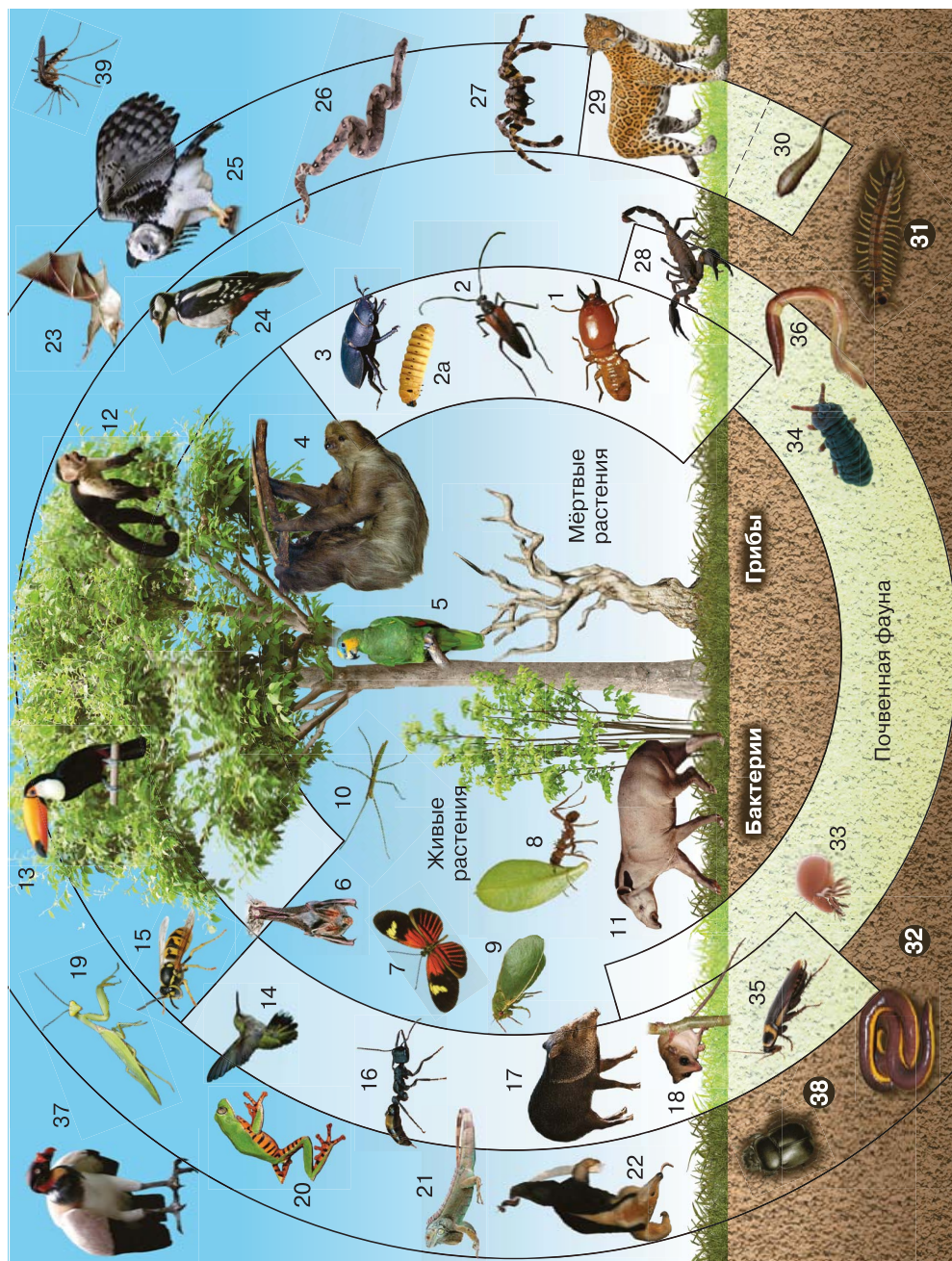


Рис. 6.21. Биоценоз пресноводного водоёма



Животный мир пресноводного водоёма также богат и разнообразен. В воде и иле, покрывающем дно, обитают бактерии, многочисленные простейшие (голые и раковинные амёбы, жгутиковые, инфузории), мелкие рачки, личинки насекомых, плоские черви (планарии). В грунте водоёмов распространены свободноживущие круглые черви, в огромных количествах встречается кольчатый червь трубочник, весьма обычны пиявки. На листьях водных растений сидят пресноводные гидры, очень многочисленны разнообразные моллюски, например крупный хищный клоп гладыш, или водяной скорпион. Наконец, в пресноводных водоёмах обычно обитают растительноядные и хищные рыбы, амфибии и их личинки — головастики. Этот далеко не полный перечень обитателей водоёма даёт всё же представление о его видовом разнообразии. В состав биоценоза всегда входит очень много (до нескольких тысяч) видов самого разного уровня организации — от бактерий до позвоночных. Их взаимоотношения в среде обитания в первую очередь определяются пищевыми потребностями. В приведённом примере

◀ **Рис. 6.22.** Схема соотношения типов питания в экосистеме равнинного тропического дождевого леса Южной Америки.

Выделенные секторы отображают вклад каждого типа питания в создание общей биомассы животных. Внутреннее кольцо включает чисто растительноядные формы консументов первого порядка, большая часть которых питается отмершими растениями. Важную роль здесь играют жуки и термиты. Среднее кольцо охватывает всеядных, т. е. консументов первого и высшего порядков. Здесь наибольшее значение имеют муравьи и осы. Во внешнем кольце представлены плотоядные формы (консументы второго и высшего порядков), частично живущие под землёй. Наибольший вклад в создание биомассы животных дождевого леса вносит почвенная фауна. Обитающие в верхних слоях почвы и в лесной подстилке мелкие животные, преимущественно членистоногие, живут не прямо за счёт опавшей листвы, а питаются грибами и бактериями, разрушающими отмершие части растений.

Консументы первого порядка, живущие только за счёт отмерших частей растений: 1 — термиты, 2 — жук-усач, 2а — личинка усача, 3 — короеды.

Консументы первого порядка, питающиеся только живыми растениями: 4 — двупалый ленивец, 5 — попугай амазон, 6 — ложный вампир, 7 — бабочка геликониды, 8 — муравей-листорез, 9 — цикада, 10 — палочник, 11 — равнинный тапир.

Консументы первого и второго порядков (всеядные): 12 — обезьяна капуцин, 13 — тукан, 14 — колибри, 15 — оса, 16 — странствующий муравей, 17 — пекари, 18 — мышевидный опоссум.

Консументы второго и высшего порядков (плотоядные, паразиты, падальщики): 19 — богомол, 20 — лягушка филомедуза, 21 — игуана анолис, 22 — четырёхпалый муравьед, тамандуа, 23 — американский листонос рода копыеносов, 24 — дятел, 25 — гарпия, 26 — обыкновенный удав, 27 — паук-птицеед, 28 — скорпион, 29 — ягуар, 30 — наземная пиявка, 31 — многоножка сколопендра, 32 — безногое земноводное червяга, 33 — почвенный клещ, 34 — ногохвостка, 35 — таракан, 36 — дождевой червь, 37 — королевский гриф, 38 — навозный жук, 39 — комар. Королевский гриф и кровососущие комары — падальщики и паразиты — представители консументов высшего порядка

одноклеточные водоросли служат пищей простейшим, низшим ракообразным — циклопам и дафниям, личинкам насекомых, фильтрующим двусторчатым моллюскам. Высшие растения поедаются растительноядными рыбами, скоблящими брюхоногими моллюсками, личинками некоторых насекомых. В свою очередь, мелкие рачки, черви, личинки насекомых служат пищей рыбам и амфибиям. Хищные рыбы охотятся на растительноядных. В воде кормятся некоторые млекопитающие, например выхухоль, питающаяся моллюсками, насекомыми и их личинками, иногда рыбой. Мёртвые органические остатки падают на дно. На них развиваются бактерии-редуценты, которые, в свою очередь, потребляются простейшими, фильтрующими моллюсками и другими организмами.

Таким образом, пищевые отношения служат регуляторами численности видов, входящих в биоценоз.

Помимо видового разнообразия, биоценозы характеризуются сложной пространственной структурой (рис. 6.22). Так, в каждом ярусе леса поселяются многочисленные животные, основной формой взаимоотношений которых, так же как и в других биоценозах, являются пищевые отношения.

Цепи питания. Ряд взаимосвязанных видов, из которых каждый предыдущий служит пищей последующему, носит название *цепи питания*. Можно сказать также, что пищевая цепь, или цепь питания, — это перенос энергии от её источника — растений — через ряд организмов путём поедания одних видов другими. Таким образом, цепи питания — это трофические (от греч. *trophos* — питание) связи между видами (рис. 6.23).

В основе цепей питания лежат зелёные растения, которыми питаются насекомые и позвоночные животные, в свою очередь служащие источником

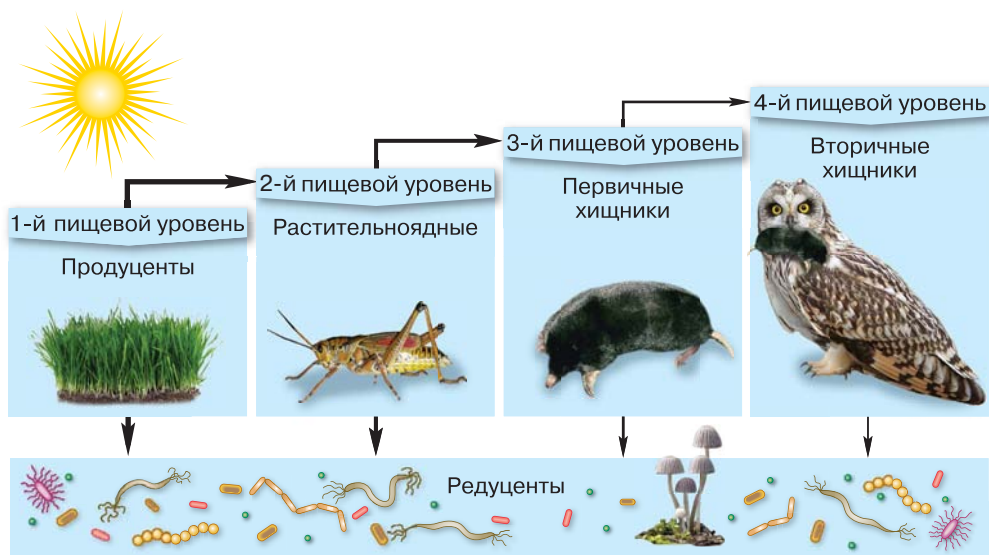


Рис. 6.23. Упрощённая цепь питания

энергии и вещества для построения тела потребителей второго, третьего и других порядков. Общая их закономерность в том, что количество особей, включённых в пищевую цепь, последовательно уменьшается и численность жертв значительно больше численности их потребителей. Это происходит потому, что в каждом звене пищевой цепи, при каждом переносе энергии 80—90% её теряется, рассеиваясь в форме теплоты. Это обстоятельство ограничивает число звеньев в цепи (обычно из 3—5). В среднем из 1 тыс. кг растений образуется 100 кг тела травоядных животных. Хищники, поедая травоядных, могут построить из этого количества 10 кг своей биомассы, а вторичные хищники — только 1 кг. Например, человек съедает большую рыбу. Её пищу составляют мелкие рыбы, потребляющие зоопланктон, который живёт за счёт фитопланктона, улавливающего солнечную энергию. Таким образом, для построения 1 кг тела человека требуется 10 тыс. кг фитопланктона. Следовательно, масса каждого последующего звена в цепи прогрессивно уменьшается. Эта закономерность носит название *правила экологической пирамиды* (рис. 6.24).

Различают пирамиду чисел, отражающую число особей на каждом этапе пищевой цепи, пирамиду биомассы — количество синтезированного на каждом уровне органического вещества и соответственно экологическую пирамиду — пирамиду энергии — количество энергии в пище. Все они имеют одинаковую направленность, различаясь в абсолютном значении цифровых величин. В реальных условиях цепи питания могут иметь разное число звеньев. Кроме того, цепи питания могут перекрещиваться, образуя сети питания. Почти все виды животных, за исключением очень специализированных в пищевом отношении, используют не один какой-нибудь источник пищи, а несколько

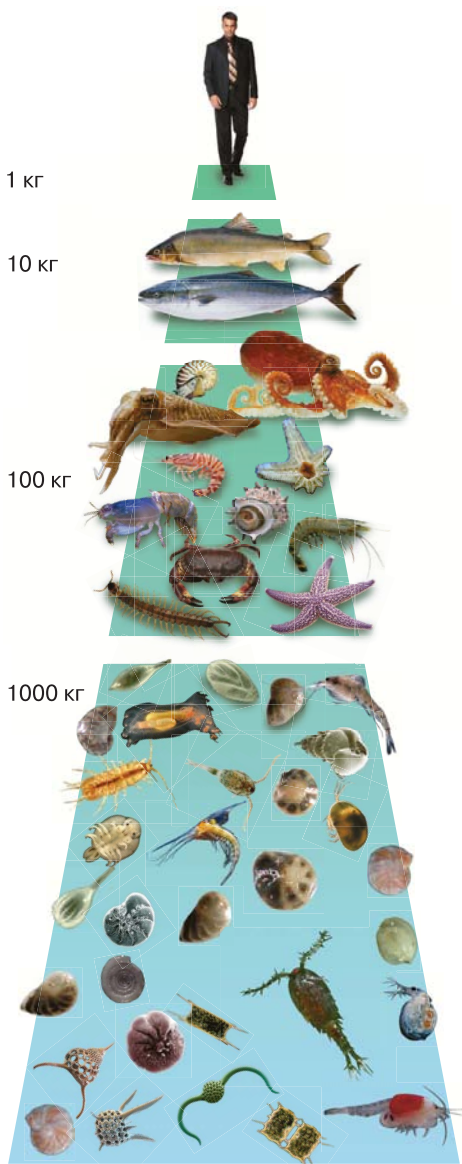


Рис. 6.24. Экологическая пирамида (пирамида биомассы)

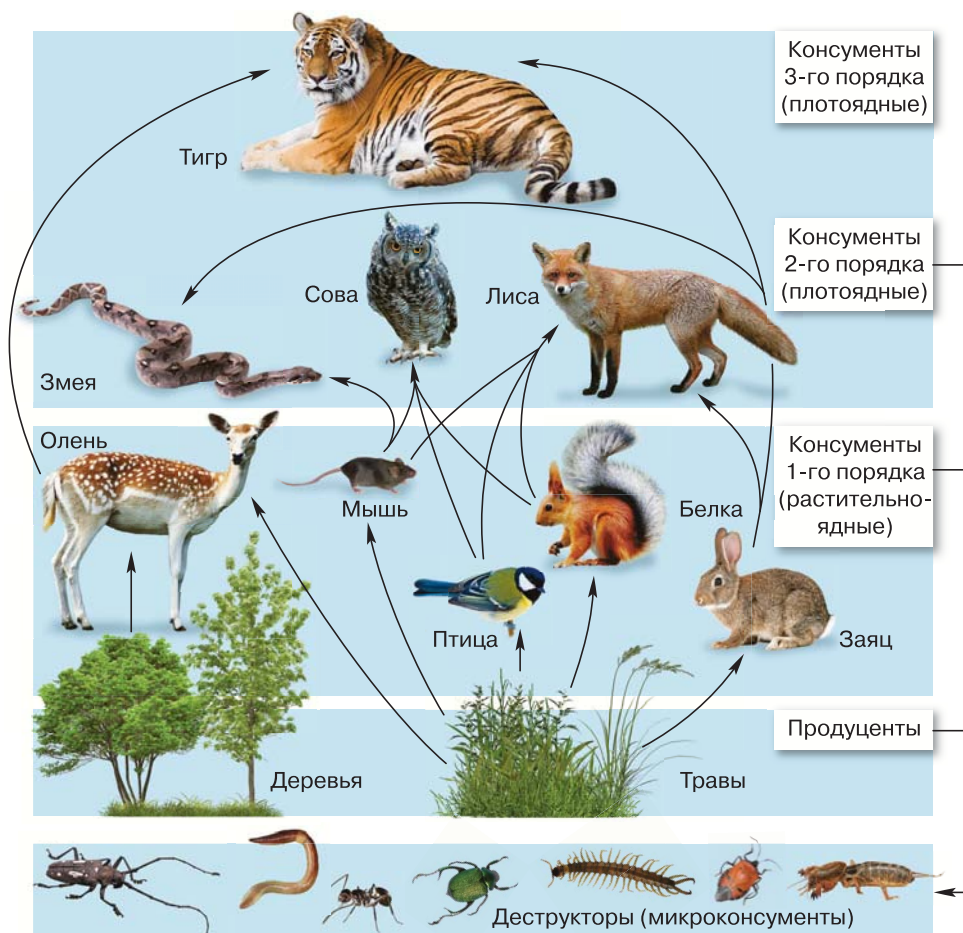


Рис. 6.25. Схема сети питания

(рис. 6.25). Чем больше видовое разнообразие в биоценозе, тем он устойчивее. Так, в цепи питания «растения — заяц — лиса» всего три звена. Но лиса питается не только зайцами, но и мышами и птицами. Общая закономерность состоит в том, что в начале пищевой цепи всегда находятся зелёные растения, а в конце — хищники. С каждым звеном в цепи организмы становятся крупнее, они медленнее размножаются, их число уменьшается. Виды, занимающие положение низших звеньев, хотя и обеспечены питанием, но сами интенсивно потребляются (мышей, например, истребляют лисы, волки, совы). Отбор идёт в направлении увеличения их плодовитости. Такие организмы превращаются в кормовую базу высших животных без всяких перспектив прогрессивной эволюции.

В любой геологической эпохе с наибольшей скоростью эволюционировали организмы, стоящие на высшем уровне в пищевых взаимоотношениях.

ях, например в девоне — кистепёрые рыбы — рыбацкие хищники; в каменноугольном периоде — хищные стегоцефалы; в пермском — рептилии, охотившиеся на стегоцефалов. На протяжении всей мезозойской эры млекопитающие истреблялись хищными рептилиями и только вследствие вымирания последних в конце мезозоя заняли господствующее положение, дав большое число форм.

Пищевые отношения — самый важный, но не единственный тип отношений между видами в биоценозе. Один вид может влиять на другой разными путями. Организмы могут поселяться на поверхности или внутри тела особей другого вида, могут формировать среду обитания для одного или нескольких видов, влиять на движение воздуха, температуру, освещённость окружающего пространства. Примеры связей, влияющих на места обитания видов, многочисленны. Морские жёлуди — морские ракообразные, ведущие сидяче-прикреплённый образ жизни, нередко поселяются на коже китов. Личинки многих мух живут в коровьем навозе. Особенно большая роль в создании или изменении среды для других организмов принадлежит растениям. В зарослях растений, будь то лес или луг, температура колеблется в меньшей степени, чем на открытых пространствах, а влажность выше.

Нередко один вид участвует в распространении другого. Животные переносят семена, споры, пыльцу растений, а также других более мелких животных. Семена растений могут захватываться животными при случайном соприкосновении, особенно если семена или соплодия имеют специальные зацепки, крючки (черёда, лопух). При поедании плодов, ягод, не поддающихся перевариванию, семена выделяются вместе с помётом. Млекопитающие, птицы и насекомые переносят на своём теле многочисленных паразитов, в том числе клещей.

Все эти многообразные связи обеспечивают возможность существования видов в биоценозе, удерживают их друг возле друга, превращая в стабильные саморегулирующиеся сообщества.

6.3.5. Смена биоценозов

Биоценоз живёт и развивается как целостная система. В природе менее устойчивые биогеоценозы со временем сменяются наиболее устойчивыми. Их смена определяется тремя факторами: упорядоченным процессом развития сообщества — установлением в нём стабильных взаимоотношений между видами; изменением климатических условий; изменением физической среды под влиянием жизнедеятельности организмов, составляющих сообщество. Развитая стабильная экологическая система образует максимальную биомассу на единицу имеющегося потока энергии и наибольшее количество симбиотических связей между организмами.

Рассмотрим развитие экосистемы на песчаных дюнах. Сначала на голых песках поселяются злаки, ивняк и такие животные, как парные пауки, кузнечики, роющие осы. Появляется сосна, затем лиственные породы, становится более разнообразным животный мир. К первым поселенцам присоединяются муравьи, кобылки, жуки. Развитие, начавшееся в сухом

и бесплодном местообитании, заканчивается образованием стабильного влажного лиственного леса с мощной, богатой гумусом (от лат. *humus* — земля; высокомолекулярные органические вещества) почвой, с дождевыми червями и моллюсками, разнообразным животным миром. Таким образом, главную роль в развитии биоценоза играют растения. Вызываемые ими изменения в почве служат основой для изменения и обогащения видового состава биоценоза.

Примером смены сообщества как результата жизнедеятельности входящих в них организмов может служить также процесс зарастания озёр и образования болот.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Каждый живой организм живёт в окружении множества других, вступая с ними в самые разнообразные отношения как с положительными, так и с отрицательными для себя последствиями.
- В состав биоценоза всегда входит очень много (до нескольких тысяч) видов самого разного уровня организации — от бактерий до позвоночных.
- Общая закономерность цепей питания заключается в том, что на каждом её этапе происходит потеря энергии, достигающая 90%.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Какие признаки вы можете предложить для характеристики биогеоценоза?
- 2 Как на жизнедеятельности организмов проявляется взаимодействие абиотических факторов среды?
- 3 В чём заключается негативное воздействие ионизирующего излучения на живые организмы?
- 4 Каково значение для устойчивости биоценоза его видового разнообразия?
- 5 Что такое экологическая пирамида и каковы направления естественного отбора на каждой её ступени?
- 6 Назовите причины смены биогеоценозов.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Какими, по вашему мнению, отличиями характеризуются созданные человеком искусственные биоценозы и какие трудности приходится ему преодолевать для поддержания целостности сообщества?
- 2 Как можно сократить потери энергии в цепях питания в искусственном сообществе организмов — агроценозе?

6.4. Взаимоотношения организмов

Живые организмы поселяются друг с другом не случайно, а образуют определённые сообщества, приспособленные к совместному обитанию. Среди огромного разнообразия взаимосвязей живых существ выделяют определённые типы отношений, имеющие много общего у организмов разных систематических групп. По направлению действия на организм все они подразделяются на позитивные, негативные и нейтральные (рис. 6.26).

6.4.1. Позитивные отношения — симбиоз

Симбиоз (от греч. *sym* — вместе и *bios* — жизнь) — сожительство; форма взаимоотношений, при которой оба партнёра или один из них извлекает пользу от взаимодействия, не нанося друг другу ущерба. Различают несколько форм взаимополезного сожительства живых организмов.

Мутуализм. *Мутуализм* (от лат. *mutuus* — взаимный) — это широко распространённая форма взаимополезного сожительства, когда присутствие партнёра становится обязательным условием существования каждого из них. Один из самых известных примеров таких отношений — лишайники, представляющие собой сожительство гриба и водоросли (рис. 6.27, А). В лишайнике гифы гриба, оплетая клетки и нити водорослей, образуют специальные всасывающие отростки, проникающие в клетки. Через них гриб получает продукты фотосинтеза, образованные водорослями. Водоросль же из гиф гриба извлекает воду и минеральные соли.

Типичный симбиоз — отношения термитов и жгутиковых простейших, обитающих в их кишечнике. Термиты питаются древесиной, однако у них нет ферментов для переваривания целлюлозы. Жгутиконосцы вырабатывают такие ферменты и переводят клетчатку в простые сахара. Без простейших — симбионтов — термиты погибают от голода. Сами же жгутиковые,

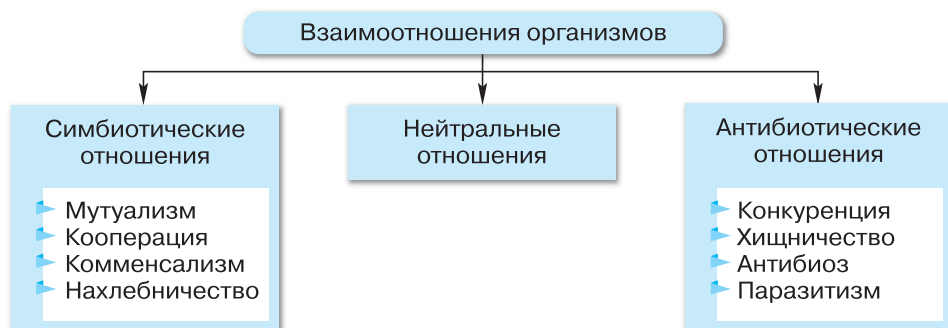


Рис. 6.26. Взаимоотношения организмов

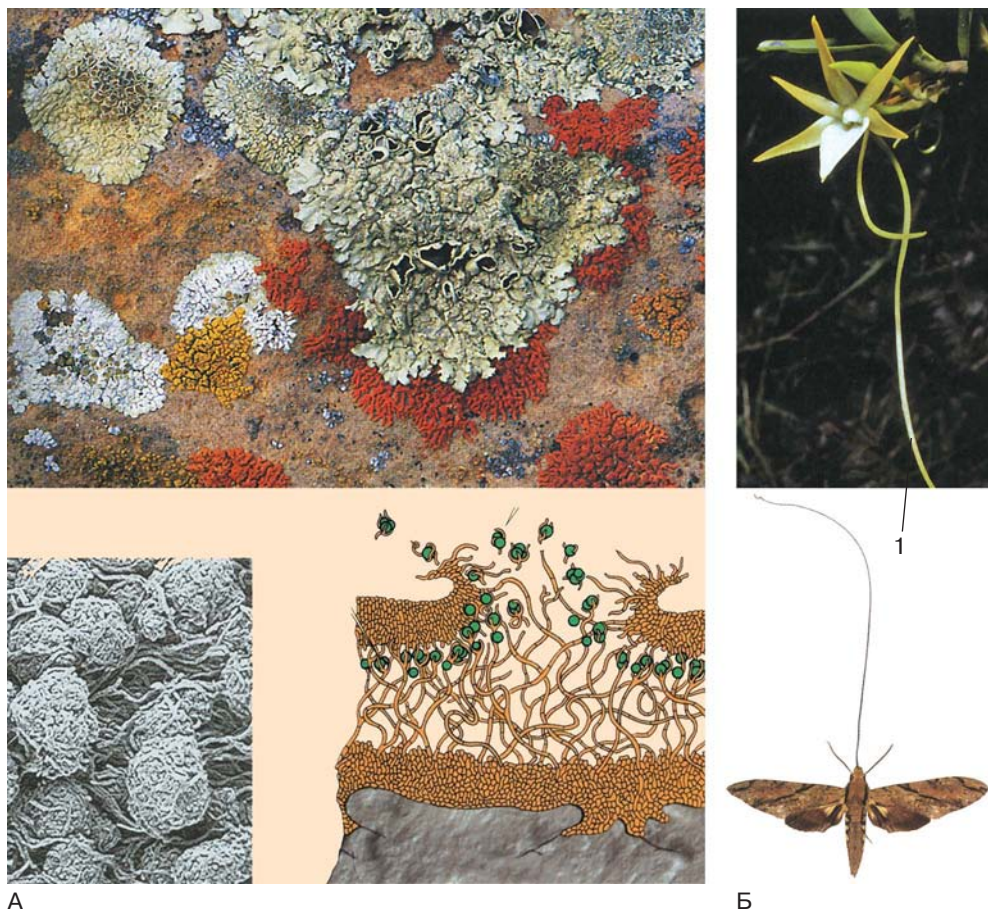


Рис. 6.27. Мутуализм: А — симбиоз гриба и водоросли; Б — взаимоотношения одного из видов орхидей, имеющего длинный нектароносный хоботок (1) и бабочки с хоботком соответствующей длины

помимо благоприятного микроклимата, получают в кишечнике термитов пищу и условия для размножения. Кишечные симбионты, участвующие в переработке грубых растительных кормов, обнаружены у многих животных: жвачных, грызунов, жуков-точильщиков и др.

Мутуализм широко распространён и в растительном мире. Примером взаимовыгодных отношений служит сожительство так называемых клубеньковых бактерий и бобовых растений (гороха, фасоли, сои, клевера, люцерны, вики, белой акации, земляного ореха, или арахиса). Эти бактерии, способные усваивать азот воздуха и превращать его в аммиак, а затем в аминокислоты, поселяются в корнях растений. Присутствие бактерий вызывает разрастание тканей корня и образование утолщений — клубеньков. Растения в симбиозе с азотфиксирующими бактериями могут произрастать на

почвах, бедных азотом, и обогащать им почву. Вот почему бобовые — клевер, люцерну, вику — вводят в севообороты как предшественников для других культур.

Другая форма симбиотических взаимоотношений у растений — сожительство гриба с корнями высших растений — микориза. На корнях берёзы, сосны, дуба, ели, а также орхидных, вересковых, брусничных и многих многолетних трав мицелий гриба образует толстый слой. Корневые волоски на корнях высших растений при этом не развиваются, а вода и минеральные соли поглощаются с помощью гриба. Мицелий гриба проникает даже внутрь корня, получая от растения-партнёра углеводы и доставляя ему воду и минеральные соли. Деревья с микоризой растут гораздо лучше, чем без неё.

Кооперация. *Кооперация* — это взаимопользное сожительство, при котором оба партнёра извлекают пользу из взаимодействия, но могут и обходиться друг без друга. Общеизвестно сожительство раков-отшельников с мягкими коралловыми полипами — актиниями. Рак поселяется в пустой раковине моллюска и возит её на себе вместе с полипом. Такое сожительство взаимовыгодно: перемещаясь по дну, рак увеличивает пространство, используемое актинией для ловли добычи, часть которой, поражённая стрекательными клетками актинии, падает на дно и поедается раком.

Сожителями рака-отшельника и актинии часто бывают многощетинковые черви (рис. 6.28). Они иногда встречаются в других условиях — в норах различных животных и пустых раковинах. Замечательно, что рак-отшельник не трогает «своего» червя, хотя поедает других. Больше того, при переселении в новую раковину он нередко переносит с собой и червя. Черви принимают участие в трапезах рака-отшельника, высываясь в это время из раковины и подби-



Рис. 6.28. Кооперация. Рак-отшельник и мягкий коралловый полип актиния



Рис. 6.29. Рыбки-чистильщики

рая куски разрываемой хозяином пищи. Они приносят пользу своему сожителю, очищая полость его раковины и объедая паразитов с его мягкого брюшка. Польза для всех трёх организмов очевидна, но их связь необязательна.

У свободноживущих организмов всегда очень много паразитов. Поэтому в некоторых случаях они становятся единственным источником пищи для животных-чистильщиков (рис. 6.29). Например, рыбы, мелкие и крупные (мурены), приплывают к местам, где их ожидают креветки, принимают определённую позу,

принимают определённую позу — ложатся на бок или открывают пасть и ждут, пока креветки не соберут паразитов с поверхности тела или в ротовой полости. Заодно с паразитами креветки выстригают клешнями повреждённые омертвевшие ткани.

Среди позвоночных животных такое явление распространено достаточно широко. Многие птицы кормятся на копытных, выбирая из их шерсти паразитов — клещей (рис. 6.30). Столь же часто птицы выщипывают зимнюю шерсть у оленей, лосей, коров во время линьки, используя её при постройке гнезда.



Рис. 6.30. Птицы-чистильщики

Комменсализм. *Комменсализм* (от лат. *com* — вместе, *mensa* — трапеза) — это одна из широко распространённых форм симбиоза; взаимоотношения, при которых один вид получает пользу от сожительства, а другому это безразлично, например, гиены подбирают остатки недоеденной львами добычи.

В открытом океане крупных морских животных (акул, дельфинов, черепах) часто сопровождают рыбы-лоцманы. При больших скоростях, развиваемых акулой или дельфином, образуется так называемый слой трения, прилегающий непосредственно к поверхности тела этих животных. Лоцманы, попадая в этот слой, движутся с той же скоростью, не затрачивая больших усилий, и кормятся остатками пищи животных, которых они сопровождают, а также их экскрементами и паразитами. Близость к крупным хищникам защищает лоцманов от нападения. Сами акулы лоцманов не трогают. Очевидно, что пользу от совместного обитания получают главным образом лоцманы. Такие отношения между видами называют *нахлебничеством*.

Примером перехода нахлебничества в более тесные отношения между видами служат рыбы-прилипалы, обитающие в тропических и субтропических морях. Их передний спинной плавник преобразовался в присоску. Биологический смысл прикрепления прилипал заключается в облегчении передвижения и расселения этих рыб.

Если прилипалы используют крупных рыб как «извозчиков», то часто тела животных других видов или их места обитания (постройки) служат убежищами. Эта форма взаимоотношений получила название *квартирантства*. В полости тела голотурии (тип Иголкожие), называемой также морским огурцом, находят убежище разнообразные мелкие виды животных. Мальки рыб прячутся под зонтиками крупных медуз, где находятся под защитой щупалец, снабжённых стрекательными нитями. В гнёздах птиц, норах грызунов обитает огромное количество членистоногих, использующих благоприятный микроклимат и находящихся там пищу в виде разлагающихся остатков. Особую важность приобретает использование надёжных убежищ для сохранения икры или молоди. Морские рыбы карепрокты откладывают икру под панцирь краба, на его жабры. Отложенные на жабры икринки развиваются в условиях идеального снабжения чистой водой, непрерывно пропускаемой через жабры хозяина. Такое приспособление выработалось у пресноводного горчка, откладывающего икру в мантийную полость двустворчатых моллюсков беззубок. Взрослые рыбы также нередко ищут защиты у животных других видов.

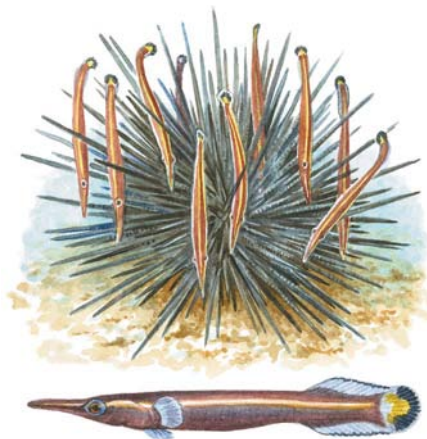


Рис. 6.31. Ежовая уточка среди игл морского ежа



Рис. 6.32. Эпифитная орхидея с воздушными корнями

Мелкие кривохвостки подолгу держатся между длинными иглами морских ежей в полной безопасности от хищников (рис. 6.31).

Растения также используют другие виды как места обитания. Примером могут служить эпифиты. Эпифитами могут быть водоросли, лишайники, мхи, папоротники, цветковые (рис. 6.32). Древесные растения служат им местом прикрепления, но не источником питательных веществ или минеральных солей. Питаются эпифиты за счёт отмирающих тканей, выделений хозяина и путём фотосинтеза. В нашей стране эпифиты представлены главным образом лишайниками и некоторыми мхами.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Взаимоотношения между организмами в сообществах носят позитивный, негативный или нейтральный характер.
- Симбиотические отношения между организмами могут носить обязательный или временный характер.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Дайте определение основных форм взаимодействия живых организмов.
- 2 Какие формы симбиоза вам известны и в чём заключаются их особенности?
- 3 В чём состоит эволюционное значение симбиоза?

6.4.2. Антибиотические отношения

Антибиоз (от греч. *anti* — против и *bios* — жизнь) — форма взаимоотношений, при которой обе взаимодействующие популяции или одна из них испытывают отрицательное влияние. Неблагоприятное влияние одних видов на другие может проявляться в разных формах.

Конкуренция. Конкуренция возникает, когда у двух близких видов наблюдаются сходные потребности. Если такие виды обитают на одной территории, то каждый из них находится в невыгодном положении: уменьшаются возможности овладения пищевыми ресурсами, местами для размножения

и т. д. Конкуренцию можно определить как форму взаимоотношений, при которой одни организмы используют ресурсы или территорию, пригодные для освоения другими особями. Формы конкурентного взаимодействия могут быть самыми разными — от прямой физической борьбы до мирного совместного существования. Тем не менее, если два вида с одинаковыми потребностями оказываются в одном сообществе, рано или поздно один конкурент вытеснит другого. Ч. Дарвин считал конкуренцию одной из важнейших составных частей борьбы за существование, играющей большую роль в эволюции видов.

Как бы ни были сходны потребности видов, всё же чем-то они отличаются друг от друга так же, как различается их устойчивость к факторам среды: температуре, влажности и т. п. Скорость размножения видов уже по этим причинам будет неодинакова. С каждым поколением всё больше пищевых ресурсов будет захватываться особями конкурентоспособного вида, при этом другой вид неизбежно исчезнет.

Часто конкуренты активно действуют друг на друга. У растений это перехват минеральных солей и влаги корнями, солнечного света — листьями. В смешанных посевах трав преимущество получают виды с более длинными листовыми черешками. В смешанных посадках деревьев быстрорастущие экземпляры будут затенять и угнетать медленно растущие деревья.

Растения и животные могут подавлять конкурентов и с помощью химических веществ. Грибы препятствуют росту бактерий путём выработки антибиотиков. У животных встречаются случаи прямого нападения представителей одного вида на другой. В результате более слабый конкурент погибает или ищет свободную территорию.

Одним из путей регуляции плотности населения данного вида в биогеоценозе служит маркирование занимаемой особью или семьёй территории (рис. 6.33). Оставляемый животным запах служит сигналом, предупреждающим, что территория занята.



Рис. 6.33. Крупные копытные метят территорию, оставляя клочья шерсти на камнях и деревьях



Рис. 6.34. Хищная инфузория дидиния пожирает инфузорию туфельку

В результате конкуренции в биогеоценозе совместно уживаются только те виды, которые смогли разойтись в своих требованиях к условиям жизни. Например, копытные африканских саванн по-разному используют пастбищный корм (см. рис. 6.14). Зебры обрывают верхушки трав; антилопы кормятся тем, что оставляют им зебры, выбирая при этом определённые виды растений; газели выщипывают самые низкие травы, а антилопы топпи едят сухие стебли, оставшиеся после других травоядных.

Хищничество. Хищничество — это одна из самых распространённых форм взаимоотношений, имеющих большое значение в саморегуляции биоценозов. Хищниками называют животных (а также некоторые растения), питающихся другими животными-жертвами, которых они ловят и умерщвляют. Объекты охоты хищников чрезвычайно разнообразны. Отсутствие специализации позволяет им использовать самую разную пищу. Например, лисы поедают плоды, медведи собирают ягоды и лакомятся мёдом лесных пчёл. Хотя у всех хищников есть предпочитаемые виды жертв, массовое размножение непривычных объектов охоты заставляет переключаться именно на них. Так, соколы-сапсаны добывают пищу в воздухе. Но при массовом раз-



Рис. 6.35. Морские звёзды пожирают моллюска

множении леммингов соколы начинают охотиться на них, схватывая добычу с земли.

Способность переключения с одного вида добычи на другой — одно из необходимых приспособлений в жизни хищников.

Хищничество является одной из основных форм борьбы за существование и встречается во всех крупных группах эукариотических организмов. Уже у одноклеточных поедание особей одного вида другим — обычное явление (рис. 6.34). Медузы парализуют стрекательными клетками любые организмы, попадающие в сферу досягаемости их щупалец (у крупных форм — до 20—30 м в длину), и поедают их. На дне моря обитают типичные хищники — морские звёзды, питающиеся моллюсками (рис. 6.35) и часто уничтожающие обширные поселения коралловых полипов.

Многие многоножки, в частности сколопендра, — хищники с широким спектром жертв: от насекомых до мелких позвоночных животных (рис. 6.36). Крупные лягушки нападают на птенцов и могут наносить серьёзный ущерб разведению водоплавающей домашней птицы. Змеи охотятся на амфибий, птиц и мелких млекопитающих (рис. 6.37). Нередко объектами их охоты бывают не только взрослые особи, но и яйца птиц. Гнёзда птиц, расположенные как на земле, так и на деревьях, буквально опустошаются змеями.

Частным случаем хищничества служит *каннибализм* — поедание особей своего вида, чаще всего молодежи. Каннибализм характерен в основном для



Рис. 6.36. Сколопендра (класс Многоножки), нападающая на ящерицу



Рис. 6.37. Змея пожирает крысу



Рис. 6.38. Защита стада. В случае опасности быки выстраивают каре, защищая самок и телят

пауков (самки нередко съедают самцов), рыб (поедание мальков). Также он иногда встречается и у млекопитающих.

Хищничество связано с овладением сопротивляющейся и убегающей добычей. При нападении сокола-сапсана на птиц большинство жертв погибает мгновенно от внезапного удара когтей сокола. Мыши-полёвки также не могут оказать сопротивления сове или лисице. Но иногда борьба хищника и жертвы превращается в ожесточённую схватку.

Поэтому естественный отбор, действующий в популяции хищников, будет увеличивать эффективность средств поиска и ловли добычи. Этой цели служат паутина пауков, ядовитые зубы змей, точные нападающие удары богомоллов, стрекоз, змей, птиц и млекопитающих. Вырабатывается сложное поведение, например согласованные действия стаи волков при охоте на оленей.

Жертвы в процессе отбора также совершенствуют средства защиты и избегания хищников. Сюда относятся покровительственная окраска, различные шипы и панцирь, приспособительное поведение. При нападении хищника на стаю рыб все особи бросаются врассыпную, что увеличивает их шансы уцелеть. Напротив, скворцы, заметив сапсана, сбиваются в плотную кучу. Хищник избегает нападать на плотную стаю, так как рискует получить увечья. Крупные копытные при нападении на них волков становятся кругом (рис. 6.38). Для волков вероятность отбить и зарезать отдельную особь в результате такого поведения стада значительно уменьшается. Поэтому они предпочитают нападать на старых или ослабленных болезнями животных. Сходное поведение выработалось и у приматов. При угрозе нападения хищника самки с детёнышами оказываются в плотном кольце самцов (рис. 6.39).

Потребность в азоте у растений, произрастающих на бедных питательными веществами почвах, промываемых водой, привела к возникновению у них очень интересного явления. Эти растения обладают приспособлениями для ловли насекомых. Так, листовые пластинки венериной мухоловки, эндемика штата Северная Каролина (США), превратились в створки с зубцами (рис. 6.40). Створки захлопываются, как только насекомое коснётся

чувствительных волосков на листовой пластинке. У встречающейся в России росянки круглолистной листья собраны в прикорневую розетку. Вся верхняя сторона и края каждого листа усажены железистыми волосками (см. рис. 1.44). В центре листа волоски короткие, по краям — длинные. Головку волоска окружает прозрачная капля густой липкой тягучей слизи. Мелкие мухи или муравьи садятся или вползают на лист и прилипают к нему. Насекомое бьётся, пытается освободиться, но все волоски потревожен-

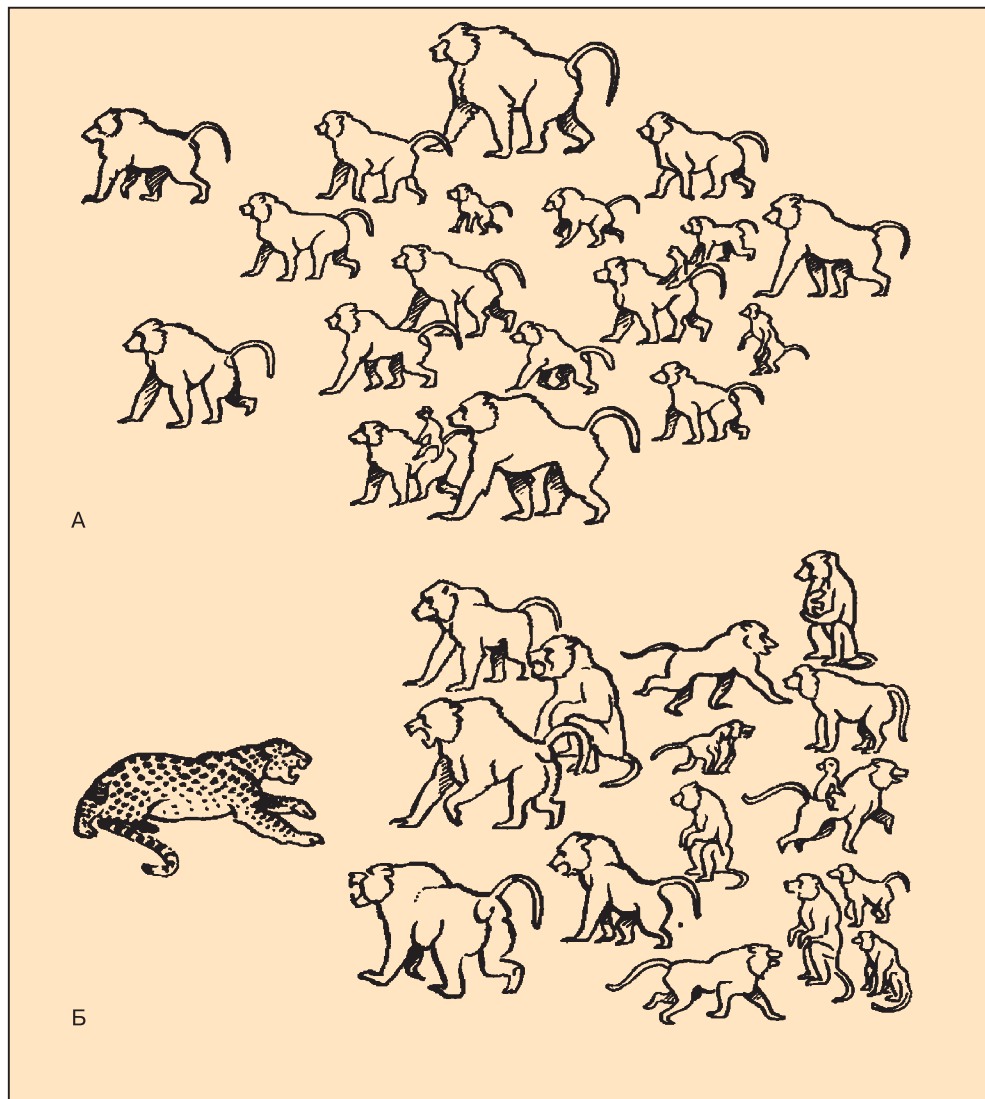


Рис. 6.39. Стадо павианов на марше (А) и при возникновении опасности (Б)



Рис. 6.40. Венерина мухоловка

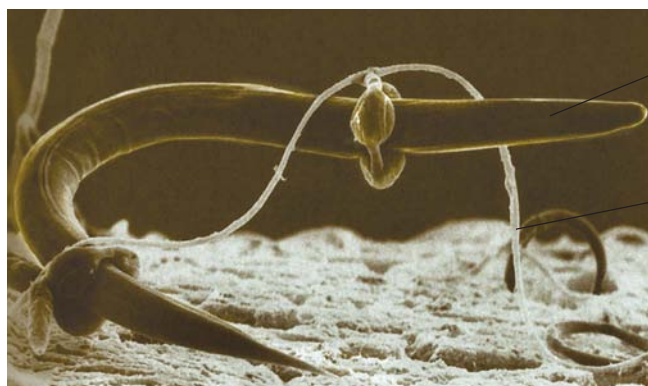
ного листа изгибаются навстречу добыче, обволакивая её слизью. Край листа медленно загибается и покрывает насекомое. Слизь, выделяемая волосками, содержит ферменты, поэтому добыча вскоре переваривается.

Хищничество встречается также у грибов. Хищные грибы образуют ловчие аппараты в виде маленьких головок, расположенных на коротких веточках мицелия (рис. 6.41). Однако самый распространённый тип ловушки — клейкие трёхмерные сети, состоящие из большого числа колец, образующихся в результате ветвления гиф. Часто хищные грибы ловят животных, превосходящих их по размерам, например круглых

червей. Процесс улавливания напоминает ловлю мух на липкую бумагу. Вскоре после запутывания червя гифы гриба прорастают внутрь и быстро заполняют всё тело. Весь процесс продолжается около суток. В отсутствие нематод грибы не образуют ловушек. Возникновение сложного ловчего аппарата стимулируется химически, продуктами жизнедеятельности червей.

В эволюции связи «хищник — жертва» происходит постоянное совершенствование и хищников, и их жертв.

Паразитизм. Организмы могут использовать другие виды не только как место обитания, но и как постоянный источник питания. Такая форма сожительства получила название *паразитизма*. Паразитизм распространён широко и встречается уже у прокариот. Известно несколько десятков тысяч видов паразитических форм, из них около 500 — паразиты человека, поэтому изучение паразитов необходимо для предупреждения и лечения



Круглый червь

Гифы хищного
гриба

Рис. 6.41. Хищные грибы

заболеваний. Паразиты наносят ущерб и сельскому хозяйству. Изучением их жизнедеятельности, путей распространения и разработкой мер борьбы с паразитарными заболеваниями занимается наука паразитология.

Переход к паразитизму резко увеличивает возможность вида выжить в борьбе за существование. Организм-хозяин служит для паразита источником питания, очень часто — местом обитания, защитой от врагов. Тело хозяина создаёт для живущих в нём организмов благоприятный и относительно ровный микроклимат, не подверженный тем значительным колебаниям, которые всегда имеют место в природе.

Различают несколько форм паразитизма. Паразиты могут быть временными, когда организм-хозяин подвергается нападению на короткий срок, лишь на время питания. Таковы клопы, в частности постельный клоп, всюду следующий за человеком. Очень опасен поцелуйный клоп, обитающий в тропиках, — крупное, 1,5—3,5 см в длину, насекомое. Эти клопы ведут ночной образ жизни. Они заселяют глинобитные дома или камышовые хижины, постройки для скота. Нападая на человека, клопы прокалывают кожу около губы на месте перехода кожи в слизистую оболочку (отсюда название паразитов). Напившись крови, клоп выпускает на месте укуса каплю экскрементов, содержащую трипаносом, — возбудитель тяжёлой болезни. Трипаномы внедряются в ранку или в места расчёсов.

Также к временным паразитам относятся слепни, комары, мухи-жигалки, блохи. Нередко на одного хозяина нападает много паразитов. В этих случаях его организму наносится большой ущерб, и он может погибнуть.

Паразитизм не всегда можно отличить от хищничества. Например, миноги нападают на лососей, корюшку, осетров и других крупных рыб и даже на китов. Присосавшись к жертве, минога питается соками её тела в течение нескольких дней, даже недель (рис. 6.42). Выделения щёчных желёз миноги препятствуют свёртыванию крови, разрушают эритроциты и вызывают распад тканей. Многие рыбы погибают от ран. При массовом размножении миноги наносят большой ущерб ценным промысловым рыбам.

При более тесном контакте паразита с хозяином эволюционное преимущество получают организмы, способные длительное время использовать хо-



Рис. 6.42. Минога, присосавшаяся к форели

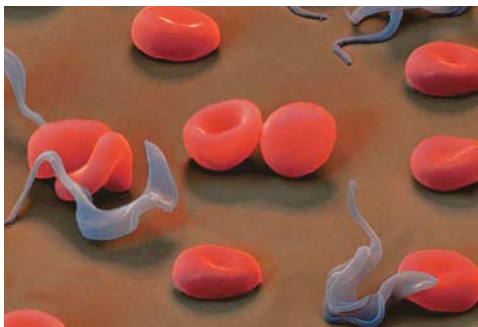


Рис. 6.43. Трипаносомы
(на фото — голубые) в образце крови

С течением времени отбор на сопротивляемость приводит к тому, что вред от присутствия паразита становится менее ощутимым. Например, в крови африканских антилоп часто обнаруживаются жгутиковые простейшие трипаносомы (рис. 6.43), переносчиком которых является кровососущая муха цеце. Антилопам трипаносомы ощутимого вреда не приносят. Но если простейшие попадают в кровь человека, развивается сонная болезнь, всегда приводящая к смертельному исходу. Таким образом, катастрофические последствия заражения паразитами наблюдаются в тех случаях, когда взаимоотношения «паразит — хозяин» не стабилизированы длительным естественным отбором. По этой причине гораздо больший вред сельскохозяйственным растениям и животным причиняют завозные вредители, чем местные.

Паразиты могут поселяться не только в крови, но и в тканях, и в полостях тела (рис. 6.44). Например, ленточные черви — процветающая группа животных, ведущая исключительно паразитический образ жизни. Цикл их развития обычно сопровождается сменой хозяев.

заяина, не приводя его к слишком ранней гибели и обеспечивая себе тем самым наилучшее существование. Паразитизм становится постоянным. К числу постоянных паразитов относятся простейшие (малярийный плазмодий, дизентерийная амёба), плоские черви (сосальщики, цепни), круглые черви (аскарида, трихина, власоглав), членистоногие (чесоточный зудень, вши). Поскольку при постоянном паразитизме организм хозяина — единственное местообитание для паразита, с гибелью хозяина погибает и паразит.



Рис. 6.44. Ленточный червь эхинококк:
А — финна; Б — яйцо

Широко распространены бактерии и грибы, паразитирующие на растениях. Они поселяются на вегетативных органах растений, вызывая у них заболевания. Низшие грибы питиум служат причиной корневой гнили многих растений. Этот гриб особенно вредит всходам сахарной свёклы, поражённые ткани которой буреют и загнивают.

Один из самых процветающих паразитов высших растений — гриб рода Фитофтора. Некоторые виды этого рода поражают практически любые растения. Другие низшие грибы — мучнисторосяные, ржавчинные и головневые — также наносят ущерб сельскохозяйственным культурам.

Есть паразиты и среди цветковых растений. Они особенно распространены в тропиках, но нередко встречаются и в умеренной зоне. У наружных паразитов большая часть тела находится вне хозяина, а в него проникают лишь органы питания — присоски. Один из наиболее распространённых наружных паразитов — повилика, растущая на многих видах трав и кустарников (рис. 6.45). Повилика обвивается вокруг стеблей растения-хозяина, внедряясь в них присосками. Листья у повилики отсутствуют, она питается только за счёт органических и минеральных веществ хозяина. Другой при-



Рис. 6.45. Повилика



Рис. 6.46. Фигус-душитель

мер паразитизма у растений — фикус-душитель. Он прорастает из семени на стволе дерева-хозяина, а затем опутывает всё дерево воздушными корнями, завоёвывая место под солнцем, принадлежащее хозяину (рис. 6.46).

На многих сельскохозяйственных растениях (подсолнечник, конопля, табак) паразитирует заразиха — бесхлорофилльное растение с толстым мясистым стеблем и бесцветными листьями. У растений встречаются и внутренние паразиты, когда почти всё их тело помещается внутри тканей хозяина, а наружу выходят лишь органы размножения. Обитающая в тропиках раффлезия имеет расчленённое на тонкие нити тело, погружённое в ткани питающего растения, а снаружи развиваются лишь цветки (рис. 6.47).

В одном и том же растительном сообществе могут быть виды, поражённые паразитами и совсем не затронутые ими. В пределах одного вида часть особей тоже может быть свободна от паразитов. Угнетённые паразитами растения менее жизнеспособны. Вследствие этого конкурентоспособность растений в сообществах за свет, воду, минеральные соединения неодинакова.

Среди причин, определяющих поражённость растений паразитами или, напротив, устойчивость к ним, ведущее значение имеет генотип. Поэтому так важна селекционная работа, направленная на выведение сортов культурных растений, устойчивых к паразитам.

Образ жизни паразитов, вызывая в процессе эволюции глубокие изменения в строении и жизнедеятельности, служит причиной появления у них многих



Рис. 6.47. Раффлезия

приспособлений к новым условиям существования. У паразитов развиваются органы прикрепления — присоски, крючки, коготки и т. п. У кровососущих животных увеличивается вместимость пищеварительной системы за счёт появления слепых выростов кишечной трубки (клещи, пиявки). Многие паразиты утрачивают отдельные органы и целые системы — органы зрения, передвижения. У них упрощается строение органов чувств.

Паразитические формы характеризуются очень высокой продуктивностью. Так, свиной цепень за сутки может выделять до 5 млн яиц. В громадном количестве образуются семена растений-паразитов, к тому же обладающие долговечностью и сохраняющие всхожесть многие годы. Всё это увеличивает вероятность контакта с организмом-хозяином.

Своеобразна форма паразитизма, при которой паразит использует для питания не ткани и соки организма хозяина, а пищу, предназначенную для его потомства. Есть мухи, откладывающие яйца в гнёзда одиночных ос, где личинки мух питаются парализованными гусеницами, заготовленными осой для своего потомства. Муха, готовая к откладке яиц, следует за осой, которая и «приводит» её к своему гнезду. Дождавшись, когда оса улетит, муха проникает в гнездо и откладывает яйца. Из них сразу же вылупляются личинки, и развитие паразита совершается быстрее, чем развитие хозяина. Такая форма паразитизма получила название гнездового.

Гнездовой паразитизм свойствен и позвоночным животным. Обыкновенная кукушка откладывает свои яйца в гнёзда более 100 видов птиц, преимущественно мелких воробьиных. Кукушка откладывает по одному яйцу непосредственно в гнездо птиц другого вида во время отсутствия хозяев или на землю, а потом переносит в клюве в гнездо, и в этом случае её птенцы развиваются быстрее, чем птенцы хозяев. Вылупившийся из яйца кукушонок выталкивает яйца своих хозяев, точно так же он поступает с птенцами, если они успевают появиться на свет (рис. 6.48). Оставшись один, птенец кукушки получает всю пищу, приносимую приёмными родителями, и быстро растёт.



Рис. 6.48. Гнездовой паразитизм. Птенец кукушки выбрасывает из гнезда яйца приёмных родителей

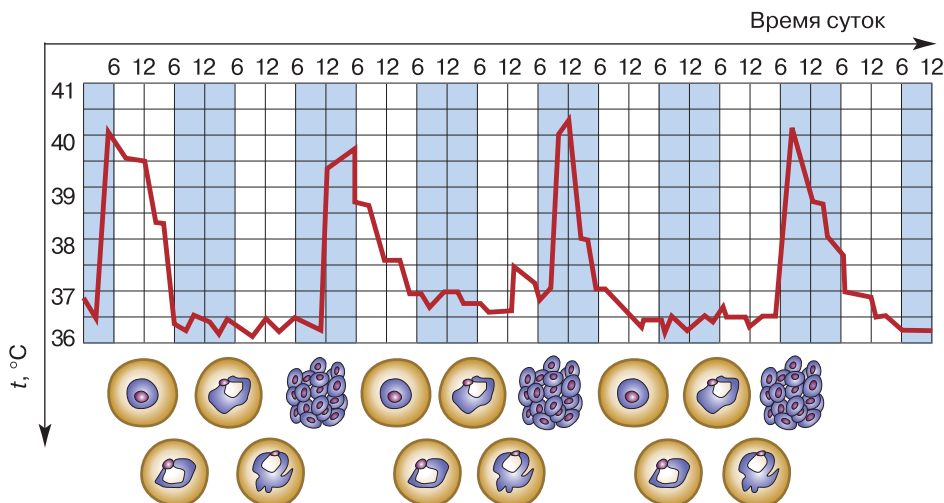


Рис. 6.49. Температурная кривая человека при заболевании трёхдневной малярией. Внизу — стадии развития *Plasmodium vivax*, соответствующие различной температуре тела больного; сиреневым цветом выделен ночной период суток

В тех случаях, когда паразиты поселяются в теле другого животного или человека, они зачастую оказывают неблагоприятное воздействие на хозяина. Часто это вызывается механическими причинами с помощью крючков, присосок, коготков и других приспособлений, предназначенных для того, чтобы удерживаться внутри тела или на поверхности хозяина. Механические повреждения причиняют личинки паразитических червей, когда они проходят через неповреждённую кожу или стенки сосудов или полостей. Крупные паразиты — лентецы, цепни, аскариды — могут образовывать клубки и закрывать просвет кишечника и даже вызывать разрыв его стенки. Желчные протоки печени нередко закупориваются печёночными сосальщиками. Токсическое действие оказывают продукты жизнедеятельности паразитов. Например, при выходе малярийных плазмодиев из эритроцитов в плазму крови сюда поступают и продукты их обмена. В результате у больного повышается температура (развивается приступ лихорадки) (рис. 6.49).

У человека некоторые паразиты могут приводить к инвалидности. В странах с тропическим и субтропическим климатом широко распространены круглые черви нитчатки, получившие название от нитевидной формы тела. Они достигают 5—10 см в длину и 0,2—0,36 мм в толщину. Поселяясь в лимфатических сосудах, нитчатки могут закупоривать их просвет и тем самым нарушать отток лимфы. Объём поражённого органа резко увеличивается, достигая громадных размеров. Если закупориваются лимфатические сосуды ног, развивается «слоновая болезнь» (рис. 6.50).

Для практической деятельности человека большой интерес представляет использование паразитов для борьбы с переносчиками возбудителей

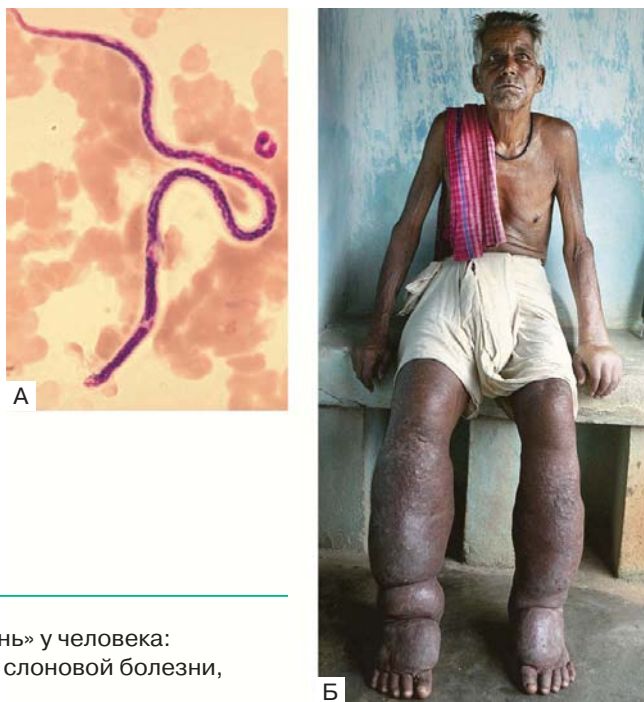


Рис. 6.50. «Слоновая болезнь» у человека:
А — нитчатка — возбудитель слоновой болезни,
Б — больной

инфекционных заболеваний или с вредителями сельского хозяйства. Существуют паразитические низшие грибы, которые поражают насекомых или их личинок. Часто встречается заболевание комнатной мухи — микоз, вызванное грибом. В отдельные годы наблюдается массовая гибель гусениц бабочек, жуков, поражённых грибами. Особенно важно то, что такие паразиты есть и у насекомых, имеющих медицинское значение, — комаров. В настоящее время предпринимаются попытки культивирования грибов — паразитов насекомых. Достигнуты успехи в снижении численности златогузки, тлей, сосновой совки путём заражения насекомых-вредителей грибами.

Биологические методы борьбы приобретают всё большее значение и в будущем позволят сократить применение ядохимикатов в сельском хозяйстве.

Собственно антибиоз. Пример типичного антибиоза — грибы, вырабатывающие специальные биологически активные вещества — антибиотики. Именно из них получила название и вся группа отношений: антибиотики, выделяемые в окружающую среду, снижают интенсивность жизнедеятельности болезнетворных бактерий или вовсе убивают их. Другим примером антибиоза может служить выделение растительным организмом фитонцидов, обладающих бактерицидным (от греч. *bakterion* — палочка и лат. *cido* — убивать) эффектом и защищающих от вирусов, бактерий и патогенных для растений грибов.

6.4.3. Нейтрализм

Нейтрализм — форма взаимоотношений, при которой совместно обитающие на одной территории организмы не влияют друг на друга. При нейтрализме особи разных видов не связаны друг с другом непосредственно, но, формируя биоценоз, зависят от состояния сообщества в целом. Например, белки и лоси в одном лесу не контактируют друг с другом, однако угнетение леса засухой сказывается на каждом из них, хотя и в разной степени.

Все перечисленные формы биологических связей между видами служат регуляторами численности животных и растений в биоценозе, определяя степень его устойчивости. При этом чем богаче видовой состав биоценоза, тем устойчивее сообщество в целом.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Множественность форм антибиотических, симбиотических и нейтральных отношений между организмами внутри сообществ образует биоценозы.
- Симбиоз, нейтрализм и антибиоз характерны для взаимодействия организмов всех царств живой природы.
- Нейтральный характер взаимоотношений между организмами свидетельствует лишь об отсутствии прямых контактов между организмами.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Перечислите основные формы негативных взаимоотношений организмов.
- 2 По каким критериям можно отличить хищничество от паразитизма?
- 3 Как конкуренция сказывается на интенсивности жизнедеятельности соперничающих видов?
- 4 Каким образом антибиоз влияет на интенсивность естественного отбора?
- 5 Какое значение имеет нейтрализм для развития биогеоценоза?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Какие формы взаимоотношений между организмами, по вашему мнению, преобладают в пресноводном водоёме; во влажном тропическом лесу?
- 2 Каким образом взаимоотношения между организмами различных систематических групп обеспечивают биологическое равновесие в экосистеме?

Обзор пройденного материала главы 6**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Сообщества живых организмов формируются во времени. На характер их организации влияют изоляция и климатические факторы среды обитания.

Биоценозы представляют собой целостные саморегулирующиеся и самоподдерживающиеся биологические системы, включающие различные взаимосвязанные между собой организмы, обитающие в данной местности.

Биоценозы характеризуются видовым разнообразием, плотностью популяций и биомассой.

На жизнедеятельность организмов оказывают существенное влияние факторы неживой природы: температура, влажность, свет и многие другие, которые при оптимальной интенсивности действия обеспечивают благоприятные условия для существования живых организмов.

Большое видовое разнообразие биоценозов создаёт предпосылки для устойчивости биоценоза во времени и способствует его длительному пребыванию в стационарном состоянии.

Пищевые взаимоотношения организмов внутри биоценозов складываются в широкие сети питания, в которых происходит преобразование энергии.

Взаимоотношения между организмами, входящими в состав биоценоза, могут носить позитивный (симбиоз), негативный (антибиоз) или нейтральный характер.

ВАША БУДУЩАЯ ПРОФЕССИЯ

Задача эколога — проследить за деятельностью потенциально опасных организаций и предотвратить нарушения установленных законом норм. Если катастрофа всё же произошла, именно экологи смогут правильно и компетентно обрисовать ситуацию, найти оптимальный выход. Кроме того, эти специалисты исследуют причины различных природных катаклизмов.

Инженер-эколог или просто эколог занимается исследованием допустимости и критичности ситуаций, связанных с нерациональными и опасными способами вмешательства в естественную природную среду. Специалист-эколог должен быть на любом крупном производственном предприятии, чтобы контролировать отношения между предприятием и средой, в которой оно функционирует. Эколог должен следить, чтобы отходы жизнедеятельности человека в любой сфере народного

хозяйства не наносили ущерб экологии, природным богатствам и здоровью человека.

Экологов можно разделить на четыре специализации, в зависимости от их сферы профессиональных интересов: воздух, вода, земля, менеджмент.

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

1. Какую цель преследует изучение экологии в общеобразовательном курсе предметов?
2. Зачем во всех цивилизованных странах мира создаются правительственные экологические структуры и чем, по вашему мнению, они должны руководствоваться в своей деятельности?
3. Как знание биогеографии и центров происхождения культурных растений может повлиять на развитие сельского хозяйства в нашей стране?

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

При организации посадок плодовых деревьев и овощных культур, разведении животных на дачном или приусадебном участке хозяева часто сталкиваются с проблемой выбора необходимых сортов растений и пород животных. Какие экологические знания позволят с наименьшими затратами получить на небольшой площади наибольший урожай?

ЗАДАНИЯ

1. Обратите внимание на действие абиотических факторов среды в городе и сельской местности и отметьте их интенсивность.
2. Оцените климатические особенности вашего постоянного места жительства и влияние хозяйственной деятельности человека на структуру типичных биомов.

Биосфера и человек. Ноосфера

Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть ноосфера.

В. И. Вернадский



Современный человек сформировался около 30–40 тыс. лет назад. С этого времени в эволюции биосферы стал действовать новый фактор — антропогенный. Из этой главы вы узнаете о том, как развитие человеческого общества влияет на эволюцию биосферы; как сказывается хозяйственная деятельность человека на состоянии биоценозов и отдельных видов организмов, в них входящих.

Термин «ноосфера» был предложен в 1927 г. французским математиком и философом Э. Леруа. Noos — от древнегреческого — разум, следовательно, ноосфера — это сфера человеческого разума.



7.1. Воздействие человека на природу в процессе становления общества

Первая созданная человеком культура — палеолит (каменный век) продолжалась примерно 20–30 тыс. лет; она совпала с длительным периодом оледенения. Экономической основой жизни человеческого общества была охота на крупных животных: благородного и северного оленей, шерстистого носорога, осла, лошадь, мамонта, тура. На стоянках человека каменного века находят кости диких животных — свидетельство успешной охоты.

Интенсивное истребление крупных травоядных животных привело к сравнительно быстрому сокращению их численности и исчезновению многих видов. Если мелкие травоядные могли восполнять потери от пре-

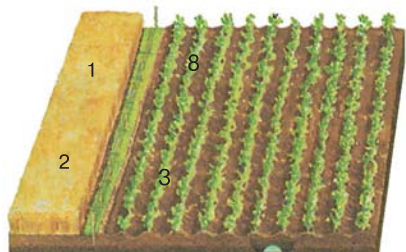
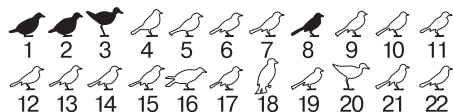
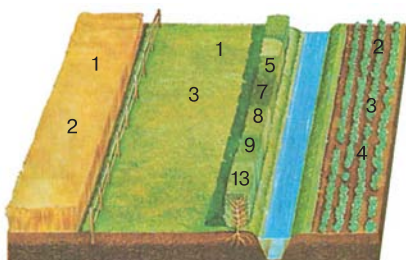
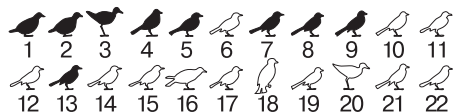
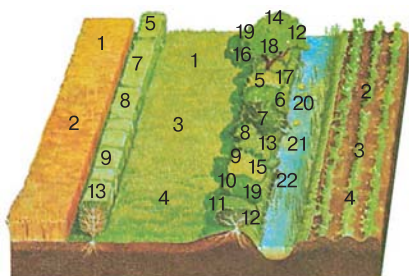


Рис. 7.1. Последствия хозяйственной деятельности человека:
слева — обеднение видового разнообразия при интенсификации земледелия (чёрным обозначены гнездящиеся виды, белым — виды птиц, переставшие гнездиться; сохранившиеся виды: 1 — серая куропатка, 2 — фазан, 3 — чибис, 8 — овсянка);
справа — опустынивание саванны

следования охотниками высокой рождаемостью, то крупные животные в силу эволюционной истории были лишены этой возможности.

Дополнительные трудности для травоядных животных возникли вследствие изменения природных условий в конце палеолита.

10—12 тыс. лет назад наступило резкое потепление, ледник отступил, леса распространились в Европе, вымерли крупные животные. Это создало новые условия жизни, разрушило сложившуюся экономическую базу человеческого общества. Закончился период его развития, характеризовавшийся только использованием природных ресурсов в качестве пищи, т. е. чисто потребительским отношением к окружающей среде.

В следующую эпоху — эпоху неолита (новый каменный век) — наряду с охотой (на лошадь, дикую овцу, благородного оленя, кабана, зубра, козла и т. д.), рыбной ловлей и собирательством всё большее значение приобретает процесс производства пищи. Делаются первые попытки одомашнивания животных и разведения растений, зарождается производство керамики. Уже 9—10 тыс. лет назад существовали поселения, среди остатков которых обнаруживают пшеницу, ячмень, чечевицу, кости домашних животных: коз, овец, свиней. В разных местах Передней и Средней Азии, Кавказа, Южной Европы развиваются зачатки земледельческого и скотоводческого хозяйства. Широко используется огонь для уничтожения растительности, для освобождения территории от леса, для земледелия, как средство охоты. Начинается освоение минеральных ресурсов, зарождается металлургия.

Всё шире и шире практика сельского хозяйства развивается в Древнем мире и в Средние века. Не отстаёт и промышленность: металлургия (бронзовый век сменяется железным), строительство (в качестве стройматериалов используются дерево и камень).

Рост населения, качественный скачок в развитии науки и техники за последние два столетия, и особенно в наши дни, привели к тому, что деятельность человека стала фактором планетарного масштаба, направляющей силой дальнейшей эволюции биосферы. Возникли *антропоценозы* (от греч. *anthropos* — человек и *koinos* — общий, общность) — сообщества организмов, в которых человек является доминирующим видом, а его деятельность — определяющей состояние всей системы (рис. 7.1). В. И. Вернадский считал, что влияние научной мысли и человеческого труда обусловило переход биосферы в новое состояние — ноосферу (сферу разума). Сейчас человечество использует для своих нужд практически всю территорию планеты и всё большие и большие количества минеральных ресурсов. Рассмотрим современное состояние биосферы и перспективы её развития.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Ранние стадии эволюции человечества характеризуются добычей пищи посредством охоты, рыбной ловли и собирательства.
- В дальнейшем всё большее значение приобретает процесс производства пищи, сопровождающийся глубоким воздействием на природу.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Как отразилась на окружающей среде деятельность первобытного человека?
- 2 К какому периоду развития человеческого общества относится зарождение сельскохозяйственного производства?
- 3 Кто впервые ввёл в науку термин «ноосфера»?

7.2. Природные ресурсы и их использование

Биологические, в том числе пищевые, ресурсы планеты обуславливают возможности жизни человека на Земле, а минеральные и энергетические служат основой материального производства человеческого общества.

Среди природных богатств планеты различают неисчерпаемые и исчерпаемые ресурсы.

7.2.1. Неисчерпаемые ресурсы

Неисчерпаемых природных ресурсов не так уж много. Они подразделяются на космические, климатические и водные. Это энергия солнечной радиации, морских волн, ветра. С учётом огромной массы воздушной и водной среды планеты неисчерпаемыми считают атмосферный воздух и воду.

Выделение это относительно. Например, пресную воду уже давно следует рассматривать как ресурс исчерпаемый, поскольку во многих регионах земного шара возник острый дефицит воды. Можно говорить и о неравномерности её распределения, и невозможности использования её в большинстве случаев из-за загрязнения. Условно неисчерпаемым ресурсом считают и кислород атмосферы.

Учёные-экологи полагают, что при современном уровне технологии использования атмосферного воздуха и воды эти ресурсы можно рассматривать как неисчерпаемые только при разработке и реализации крупномасштабных программ, направленных на восстановление их качества.

7.2.2. Исчерпаемые ресурсы

Исчерпаемые ресурсы делятся на возобновляемые и невозобновляемые. К возобновляемым ресурсам относят растительный и животный мир, плодородие почв, а к невозобновляемым — полезные ископаемые.

Возобновляемые природные ресурсы. Из числа возобновляемых природных ресурсов большую роль в жизни человека играет лес, имеющий не-

маловажное значение как географический и экологический фактор. Леса предотвращают эрозию почвы, задерживают поверхностные воды, т. е. служат влагонакопителями, способствуют поддержанию уровня грунтовых вод. В лесах обитают животные, представляющие материальную и эстетическую ценность для человека: копытные, пушные звери и др. В нашей стране леса занимают около 30% всей её суши и являются одним из основных природных богатств. Несмотря на длительную историю культурного земледелия, дикая природа продолжает служить для человека существенным источником продуктов питания. В первую очередь сюда относится рыболовство. В разных странах мира в белковом рационе человека рыба составляет от 17 до 83%. Из рыбы, кроме того, получают витамины, кормовую муку для скота, малоценные сорта рыб перерабатывают на удобрение для полей. Основная доля рыбных богатств (около 90%) сосредоточена в морях. При этом около 90% всего улова приходится на материковый шельф — на прибрежные воды, глубиной до 200 м, которые составляют всего лишь 8% всей площади Мирового океана. Населённость остальной акватории Мирового океана гораздо ниже и соответственно выше трудности лова. Важный объект морского промысла — водные млекопитающие. Добыча китов составляет несколько десятков тысяч особей в год. Киты и ластоногие служат источником мяса, жира, некоторые виды добывают ради шкур с прочным и красивым мехом. Значение диких растений и животных для человека не исчерпывается их пищевой ценностью. Подавляющее большинство их необходимы как обязательные компоненты биоценозов, без них понятие «природа» просто утрачивает своё значение. Растения, например лекарственные, приносят человеку ощутимую пользу. Дикорастущие виды до сих пор являются исходным материалом для селекции. Среди диких животных есть виды, перспективные для одомашнивания.

Невозобновляемые природные ресурсы. Использование человеком невозобновляемых ресурсов началось в эпоху неолита. Первыми металлами, которые нашли применение, были золото и медь. Добывать руды, содержащие медь, а также олово, серебро, свинец умели уже за 4 тыс. лет до н. э.

В настоящее время человек вовлёл в сферу своей промышленной деятельности преобладающую часть известных минеральных ресурсов. Из земных недр извлекается всё больше различных руд, каменного угля, нефти и газа. Научно-технический прогресс открывает всё новые области применения чёрных и цветных металлов, различного неметаллического сырья. В результате расширяется разработка бедных руд, увеличивается добыча нефти со дна моря (например, освоение шельфа северных морей), сланцевых газа и нефти (рис. 7.2). В хозяйственный оборот вовлекаются новые территории, растёт использование древесины и промысловых животных. Подвергаются обработке значительные площади суши с целью выращивания растительных продуктов питания и создания кормовой базы для животноводства.

В современных условиях значительная часть поверхности Земли распахана или представляет собой полностью или частично окультуренные

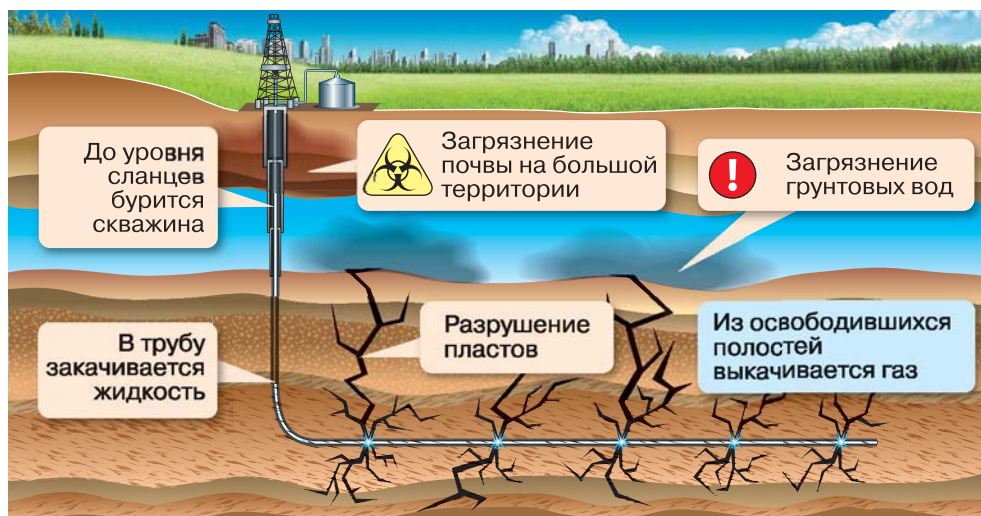


Рис. 7.2. Добыча сланцевого газа

пастбища для домашних животных. Развитие промышленности и сельского хозяйства потребовало больших площадей для строительства городов, промышленных предприятий, разработки полезных ископаемых, сооружения коммуникаций. Таким образом, к настоящему времени человеком преобразовано и выведено из естественного оборота более 20% суши.

Значительные площади поверхности суши исключены из хозяйственной деятельности человека вследствие накопления на ней промышленных отходов и невозможности использования районов, где ведётся разработка и добыча полезных ископаемых. На прилегающих территориях создаются отвалы, карьеры, терриконы — земляные конусы, провальные воронки, возникающие на местах пустот под землёй.

Таким образом, человечество интенсивно потребляет как живые, так и минеральные природные ресурсы. Однако такое использование окружающей среды имеет свои отрицательные последствия.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Биологические и минеральные ресурсы планеты определяют саму возможность существования человечества.
- Большинство природных ресурсов являются в большей или меньшей степени исчерпаемыми либо за счёт конечности запасов, либо вследствие преобладания скорости использования над временем воспроизведения.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Охарактеризуйте неисчерпаемые природные ресурсы.
- 2 Расскажите, как человек использует неисчерпаемые ресурсы.
- 3 Что такое исчерпаемые природные ресурсы?
- 4 Какие ресурсы называют возобновляемыми; невозобновляемыми? Приведите примеры.

7.3. Последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды

В соответствии с плотностью населения меняется и степень воздействия человека на окружающую среду. Однако при современном уровне развития производительных сил деятельность человеческого общества сказывается на биосфере в целом.

В этом и последующих параграфах будет показано, к чему приводит производственная деятельность человека и как предотвратить или исключить её отрицательные последствия.

7.3.1. Загрязнение воздуха

В процессе своей хозяйственной деятельности человек загрязняет воздушную среду. Над городами и промышленными районами в атмосфере возрастает концентрация газов, которые обычно в сельской местности содержатся в очень небольших количествах или совсем отсутствуют. Загрязнённый воздух вреден для здоровья. Кроме того, вредные газы, обычно оксиды серы или азота, соединяясь с атмосферной влагой и выпадая в виде кислотных дождей, ухудшают качество почвы и снижают урожай сельскохозяйственных растений и продуктивность природных фитоценозов (рис. 7.3).

Основные причины загрязнения атмосферы — сжигание природного топлива и металлургическое производство. Если в XIX и в начале XX в. поступающие в окружающую среду продукты сгорания угля и жидкого топлива почти полностью ассимилировались растительностью Земли, то в настоящее время содержание вредных продуктов сгорания неуклонно возрастает. Из печей, топок, выхлопных труб автомобилей в воздух попадает целый ряд загрязняющих веществ. Среди них выделяется сернистый ангидрид — ядовитый газ, легко растворимый в воде.

Концентрация сернистого газа в атмосфере особенно высока в окрестностях медеплавильных заводов. Он вызывает разрушение хлорофилла,



Рис. 7.3. Последствия кислотных дождей

недоразвитие пыльцевых зёрен, засыхание и отпадание листьев и хвоей. Часть SO_2 окисляется до серного ангидрида. Растворы сернистой и серной кислот, выпадая с дождями на поверхность Земли, причиняют вред живым организмам, разрушают здания. Почва приобретает кислую реакцию, из неё вымывается перегной (гумус) — органическое вещество, содержащее все компоненты, необходимые для развития растений. Кроме того, в ней снижается количество солей кальция, магния, калия. В кислых почвах уменьшается и число обитающих в них видов животных, замедлена скорость разложения опада. Всё это создаёт неблагоприятные условия для роста растений.

Каждый год в результате сжигания топлива в атмосферу поступают миллиарды тонн CO_2 . Половина диоксида углерода, образующегося при сгорании ископаемого топлива, поглощается океаном и зелёными растениями, половина остаётся в воздухе. Содержание CO_2 в атмосфере постепенно возрастает и за последние 100 лет увеличилось более чем на 10%. CO_2 препятствует тепловому излучению в космическое пространство, создавая так называемый парниковый эффект. Изменение содержания углекислого газа в атмосфере в значительной мере влияет на климат Земли.

Промышленные предприятия и автомобили служат причиной поступления в атмосферу многих ядовитых соединений: окислов азота, оксида углерода, соединений свинца (каждый автомобиль выделяет за год 1 кг свинца), различных углеводородов (ацетилена, этилена, метана, пропана, толуола, бензпирена и др.). Вместе с капельками воды они образуют ядовитый туман — смог, вредно действующий на организм человека, на растительность городов. Жидкие и твёрдые частицы (пыль), взвешенные в воздухе, уменьшают количество солнечной радиации, достигающей поверхности Земли. Так, в больших городах солнечная радиация уменьшается на 15%, ультрафиолетовое излучение — на 30% (а в зимние месяцы оно может совсем исчезнуть).

7.3.2. Загрязнение пресных вод

Масштабы использования водных ресурсов быстро растут. Это связано с ростом населения и улучшением санитарно-гигиенических условий жизни человека, развитием промышленности и орошаемого земледелия.

Суточное потребление воды на хозяйственно-бытовые нужды в сельской местности составляет 50 л на одного человека, в городах — 150 л.

Огромное количество воды используется в промышленности. На выплавку 1 т стали необходимо 200 м³ воды, а 1 т никеля — 4000 м³. На производство 1 т бумаги требуется 100 м³, а 1 т синтетического волокна — от 2500 до 5000 м³. Промышленность поглощает 85% всей воды, расходуемой в городах, оставляя на хозяйственно-бытовые цели около 15%.

Ещё больше воды необходимо для орошения. За год на 1 га поливных земель уходит 12—14 м³ воды. В нашей стране ежегодно на орошение расходуется более 150 км³, тогда как на все другие нужды — около 50 км³ воды.

Постоянное увеличение водопотребления на планете ведёт к опасности «водного голода», что обуславливает необходимость разработки мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов.

Кроме высокого уровня расхода нехватка воды вызывается её растущим загрязнением вследствие сброса в реки отходов промышленного и особенно химического производства и коммунальных сточных вод. Бактериальное загрязнение и ядовитые химические вещества (например, фенол) приводят к омертвлению водоёмов. Вредные последствия имеет также сплав леса по рекам, который часто сопровождается заторами. При длительном пребывании древесины в воде она теряет деловые качества, а вымываемые из неё вещества губительно действуют на рыб.

В реки и озёра поступают и вымываемые из почвы дождями минеральные удобрения — нитраты и фосфаты, которые в больших концентрациях способны резко изменять видовой состав водоёмов, а также различные ядохимикаты — пестициды, используемые в сельском хозяйстве для борьбы с насекомыми-вредителями. Для аэробных организмов, обитающих в пресных водах, неблагоприятным фактором служит и сброс предприятиями тёплых вод. В тёплой воде кислород плохо растворяется, и его дефицит может приводить многие организмы к гибели.

7.3.3. Загрязнение Мирового океана

Значительному загрязнению подвергаются воды морей и океанов. С речным стоком, а также от морского транспорта в моря поступают отходы, нефтепродукты, соли тяжёлых металлов, ядовитые органические соединения, в том числе пестициды. Загрязнение морей и океанов достигает таких масштабов, что в ряде случаев выловленные рыбы и моллюски оказываются непригодными для употребления в пищу. ДДТ обнаружен даже в организме пингвинов, обитающих в Антарктиде.

7.3.4. Антропогенные изменения почвы

Плодородный слой почвы формируется очень долго. В то же время ежегодно вместе с урожаем из почвы изымаются десятки миллионов тонн азота, калия, фосфора — главных компонентов питания растений. Основным фактором плодородия почвы — перегной (гумус) содержится в чернозёмах в количестве менее 5% от массы пахотного слоя. На бедных почвах перегноя ещё меньше. При отсутствии пополнения почв соединениями азота его запас может быть израсходован за 50—100 лет. Этого не происходит, поскольку культурное земледелие предусматривает добавление в почву органических и неорганических (минеральных) удобрений.

Внесённые в почву азотные удобрения используются растениями на 40—50%. Остальная часть (около 20%) восстанавливается микроорганизмами до газообразных веществ — N_2 , N_2O и улетучивается в атмосферу или вымывается из почвы. Таким образом, минеральные азотные удобрения не обладают длительным действием и поэтому их приходится вносить ежегодно. При недостаточном внесении органических и неорганических удобрений почва истощается и урожаи падают. Неблагоприятные изменения в почве наступают и в результате неправильных севооборотов, т. е. ежегодного посева одних и тех же культур, например картофеля. Включение же в севообороты бобовых культур обогащает почву азотом. Посевы клевера и люцерны за счёт связывания N_2 симбиотическими клубеньковыми бактериями позволяют задержать в почве до 300 кг азота на 1 га. Севообороты необходимы и для борьбы с растительноядными червями — нематодами, которые значительно снижают урожай. Например, луковично-чесночная нематода может снизить урожай лука на 50%.

К числу антропогенных изменений почвы относится *эрозия* (от лат. *erosio* — разъедать) — разрушение и снос почвенного покрова потоками воды или ветром. Широко распространена и наиболее разрушительна водная эрозия (рис. 7.4). Она возникает на склонах и развивается при неправильной обработке земли. Вместе с талыми и дождевыми водами с полей еже-



Рис. 7.4. Водная эрозия почв



Рис. 7.5. Отвалы грунта

годно уносятся в реки и моря миллионы тонн почвы. Если размыву ничто не препятствует, мелкие промоины превращаются в более глубокие и, наконец, в овраги. На юге европейской части страны овраги занимают большие территории, уменьшая полезную площадь обрабатываемых земель.

Ветровая эрозия наиболее сильно проявляется в южных степных областях нашей страны. Она возникает в районах с сухой обнажённой почвой, с изреженным растительным покровом. Чрезмерный выпас скота в степях и полупустынях способствует ветровой эрозии и быстрому разрушению травяного покрова. Для восстановления слоя почвы толщиной 1 см в естественных условиях требуется 250—300 лет. Следовательно, пыльные бури приносят невосполнимые потери плодородного слоя почвы.

Значительные территории со сформированными почвами изымаются из сельскохозяйственного оборота вследствие открытого способа разработки полезных ископаемых, залегающих на небольшой глубине. Открытый способ добычи дешёв, так как избавляет от сооружения дорогостоящих шахт и сложной системы коммуникаций, а также повышает безопасность. Вырытые глубокие карьеры и отвалы грунта разрушают не только земли, подлежащие разработке, но и окружающие территории, при этом нарушается гидрологический режим местности, загрязняются воды, почва и атмосфера, снижается урожай сельскохозяйственных культур (рис. 7.5). В районах подземной добычи полезных ископаемых формируется провальнотерриконовый тип местности. Эти две особенности рельефа тесно связаны друг с другом: провалы образуются в результате возникновения пустот под земной поверхностью, а терриконы — в тех местах, где складывается пустая порода. Терриконы (земляные конусы) возникают не только вокруг шахт, но и около заводов, электростанций и других промышленных предприятий. Они занимают много места, сильно пылят при ветре, а многие из них продолжают тлеть внутри, выделяя едкий дым и сернистый газ.

7.3.5. Влияние человека на растительный и животный мир

Воздействия человека на живую природу складываются из прямого влияния и косвенного изменения природной среды.

Одна из форм прямого воздействия на растения и животных — вырубка леса. Выборочные и санитарные рубки, регулирующие состав и качество леса и необходимые для удаления повреждённых и больных деревьев, существенно не влияют на видовой состав лесных биоценозов. Другое дело — сплошная вырубка древостоя. Оказавшись внезапно в условиях открытого местообитания, растения нижних ярусов леса испытывают неблагоприятное влияние прямого солнечного излучения. У теневыносливых растений травянистого и кустарничкового ярусов разрушается хлорофилл, угнетается рост, некоторые виды исчезают. На местах рубок поселяются светолюбивые растения, устойчивые к повышенной температуре и недостатку влаги. Меняется и животный мир: виды, связанные с древостоем, исчезают или мигрируют в другие места.

Ощутимое воздействие на состояние растительного покрова оказывает массовое посещение лесов отдыхающими. В этих случаях вредное влияние заключается в вытаптывании, уплотнении почвы и её загрязнении (рис. 7.6). Уплотнение почвы угнетает корневые системы и приводит к засыханию древесных растений. Вытаптывание трав нарушает существенные этапы круговорота веществ, обрекая деревья на частичное голодание. Прямое влияние человека на животный мир заключается в истреблении организмов видов, представляющих для него пищевую или другую материальную пользу.

Считается, что с 1600 г. человеком было истреблено более 160 видов и подвидов птиц и не менее 100 видов млекопитающих. В длинном списке исчезнувших групп значится тур — дикий бык, живший на территории всей Европы. В XVIII в. была истреблена описанная русским натуралистом



Рис. 7.6. Уплотнение грунта, вытаптывание

том Г. В. Стеллером морская корова (стеллерова корова) — водное млекопитающее, относящееся к отряду сиреновых (рис. 7.7). Немногим более 100 лет назад исчезла дикая лошадь тарпан, обитавшая на юге России. Многие виды животных находятся на грани вымирания или сохранились только в заповедниках. Такова судьба бизонов, десятками миллионов населявших прерии Северной Америки, и зубров, прежде широко распространённых в лесах Европы. На Дальнем Востоке почти полностью истреблён пятнистый олень. Усиленный промысел китообразных привёл на грань уничтожения несколько видов китов: серого, гренландского, голубого.



Рис. 7.7. Стеллерова корова (реконструкция)

На численность животных оказывает влияние и хозяйственная деятельность человека, не связанная с промыслом. Резко сократилась численность уссурийского тигра. Это произошло в результате освоения территорий в пределах его ареала и сокращения кормовой базы. В Тихом океане ежегодно погибает несколько десятков тысяч дельфинов, так как в период лова рыбы они попадают в сети и не могут из них выбраться. Ещё недавно, до принятия рыбаками специальных мер, число погибающих в сетях дельфинов достигало сотен тысяч. На морских млекопитающих очень неблагоприятное действие оказывает загрязнение воды. В таких случаях оказывается неэффективным запрет на отлов животных. Например, после запрещения отлова дельфинов в Чёрном море их численность не восстанавливается. Причина заключается в том, что в Чёрное море с речной водой и через проливы из Средиземного моря поступает много ядовитых веществ. Эти вещества особенно вредны для детёнышей дельфинов, высокая смертность которых препятствует росту поголовья этих китообразных.

Исчезновение сравнительно небольшого числа видов животных и растений может показаться не очень существенным. Однако главная ценность живущих ныне видов заключается не в их хозяйственном значении. Каждый вид занимает определённое место в биоценозе, в цепи питания, и заменить его не может никто. Исчезновение того или иного вида ведёт к уменьшению устойчивости биоценозов. Ещё важнее то, что каждый вид обладает уникальными, присущими только ему свойствами. Утрата генов, определяющих эти свойства и отобранных в ходе длительной эволюции, лишает человека возможности в будущем воспользоваться ими для своих практических целей (например, для селекции).

7.3.6. Радиоактивное загрязнение биосферы

Проблема радиоактивного загрязнения биосферы возникла в 1945 г. после взрыва атомных бомб, сброшенных на японские города Хиросиму и Нагасаки. Испытания ядерного оружия, производимые до 1962 г. в атмосфере, вызвали глобальное радиоактивное загрязнение. При взрыве атомных бомб возникает сильное ионизирующее излучение, радиоактивные частицы рассеиваются на большие расстояния, заражая почву, водоёмы, живые организмы. Многие радиоактивные изотопы имеют длительный период полураспада, оставаясь опасными в течение всего времени своего существования.

Все эти изотопы включаются в круговорот веществ, попадают в живые организмы и оказывают губительное действие на клетки. Очень опасен стронций-90 вследствие своей близости к кальцию. Накапливаясь в костях, он служит постоянным источником облучения организма. Радиоактивный цезий (^{137}Cs) сходен с калием, его много в мышцах поражённых животных. Исследования показали, что в организме эскимосов Аляски, питающихся мясом северных оленей, в больших количествах содержится цезий-137.

У испытаний ядерного оружия (а тем более при использовании этого оружия в военных целях) есть ещё одна отрицательная сторона. При ядерном взрыве образуется громадное количество мелкой пыли, которая долго держится в атмосфере и поглощает значительную часть солнечной радиации. Расчёты отечественных учёных, подтверждённые исследователями разных стран мира, показывают, что даже при ограниченном применении ядерного оружия образовавшаяся пыль будет задерживать большую часть солнечного излучения. Наступит длительное похолодание («ядерная зима»), которое неизбежно приведёт к гибели всего живого на Земле (рис. 7.8).

В настоящее время практически любая территория планеты от Арктики до Антарктиды подвержена многообразным антропогенным влияниям. Очень серьёзный характер приобрели последствия разрушения природных



Рис. 7.8. «Ядерная зима»

биоценозов и загрязнения окружающей среды. Вся биосфера находится под всё более усиливающимся давлением деятельности человека, поэтому актуальной задачей становятся природоохранные мероприятия.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- С развитием промышленного производства воздействие человека на природу резко усилилось.
- Количество отходов, возникающих в результате хозяйственной деятельности человеческого общества, во много раз превышает то, которое может быть естественным образом утилизировано в биосфере.
- Низкая урожайность сельскохозяйственных культур делает необходимым расширение обрабатываемых площадей, что негативно сказывается на природе в целом.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что является причиной и каковы последствия загрязнения атмосферы?
- 2 Каковы причины возможного возникновения «водного голода» в ряде регионов мира?
- 3 К чему приводит загрязнение вод Мирового океана?
- 4 Как сказывается хозяйственная деятельность человека на структуре и плодородии почвы?
- 5 Каково прямое влияние человека на растительный и животный мир Земли?



7.4. Охрана природы и перспективы рационального природопользования

В наши дни потребительское отношение к природе, изъятие её ресурсов без осуществления мер по их восстановлению уходят в прошлое. Проблема рационального использования природных ресурсов, охрана природы от губительных последствий хозяйственной деятельности человека приобрели огромное государственное значение.

Не будет преувеличением сказать, что охрана среды обитания людей — дело всего человечества. Охрана природы и рациональное природопользование — проблема комплексная, и её решение зависит как от последовательного осуществления государственных мероприятий, направленных на сбережение экосистем, так и от расширения научных знаний, которые об-

щество для собственного благополучия рентабельно и выгодно финансировать.

Здесь будут рассмотрены лишь некоторые примеры, показывающие направленность и эффективность природоохранных мер.

Для вредных веществ в атмосфере законодательно установлены предельно допустимые концентрации, не вызывающие у человека ощутимых последствий. С целью предотвращения загрязнения атмосферы разработаны мероприятия, обеспечивающие правильное сжигание топлива, переход на газифицированное центральное отопление, установку на промышленных предприятиях очистных сооружений. Помимо предохранения воздуха от загрязнения, очистные сооружения позволяют экономить сырьё и возвращать в производство многие ценные продукты. Например, улавливание серы из выделяющихся газов даёт возможность увеличить выпуск серной кислоты, улавливание цемента сберегает продукцию, равную производительности нескольких заводов. На алюминиевых заводах установка фильтров на трубах предотвращает выброс в атмосферу фтора. Помимо строительства очистных сооружений, ведутся поиски технологии, при которой образование отходов было бы сведено к минимуму. Этой же цели служит улучшение конструкции автомобилей, переход на другие виды топлива (сжиженный газ, этиловый спирт), при сжигании которого образуется меньше вредных веществ или не образуется вовсе. Разрабатываются автомобили с электрическим двигателем для передвижения в пределах города. Большое значение имеют правильная планировка городов и зелёные насаждения. Деревья очищают воздух от взвешенных в нём жидких и твёрдых частиц (аэрозолей), поглощают вредные газы. Например, сернистый газ хорошо поглощается тополем, липой, клёном, конским каштаном, а фенолы — сиренью, шелковицей (тутовое дерево), бузиной.

Бытовые и промышленные сточные воды подвергаются механической, физико-химической и биологической обработке. Биологическая очистка заключается в разрушении растворённых органических веществ микроорганизмами. Вода пропускается через специальные резервуары, содержащие так называемый активный ил, в который входят микроорганизмы, окисляющие фенолы, жирные кислоты, спирты, углеводороды, нефть и т. д.

Очистка сточных вод не решает всех проблем. Поэтому всё больше предприятий переходит на новую технологию — замкнутый цикл, при котором очищенная вода вновь поступает в производство. Новые технологические процессы позволяют в десятки раз сократить количество воды, необходимое для промышленных целей.

Охрана недр заключается прежде всего в предотвращении непроизводительных затрат органических и минеральных ресурсов и комплексном их использовании. Например, много каменного угля теряется при подземных пожарах, горючий газ сгорает в факелах на нефтепромыслах. Разработка технологии комплексного извлечения металлов из железосодержащих руд позволяет получать дополнительно такие ценные элементы, как титан, кобальт, вольфрам, молибден и др.

Для повышения продуктивности сельского хозяйства громадное значение имеют правильная агротехника и осуществление специальных мероприятий по охране почвы. Например, борьба с оврагами успешно ведётся путём посадки растений: деревьев, кустарников, трав. Растения защищают почвы от смыва и уменьшают скорость течения воды. Окультуривание оврагов позволяет использовать их в хозяйственных целях. Посев завезённой из Америки аморфы, имеющей мощную корневую систему, не только эффективно предотвращает смыв почвы — само растение даёт бобы, имеющие высокую кормовую ценность. Разнообразие посадок и посевов по оврагу способствует образованию стойких биоценозов. В зарослях поселяются птицы, что имеет немаловажное значение для борьбы с вредителями. Защитные лесонасаждения в степях препятствуют водной и ветровой эрозии полей.

Развитие биологических методов борьбы с вредителями позволяет резко сократить использование в сельском хозяйстве пестицидов. В настоящее время в охране нуждаются 2000 видов растений, 236 видов млекопитающих, 287 видов птиц. Международным союзом охраны природы учреждена специальная Красная книга, в которой сообщаются сведения об исчезающих видах и даются рекомендации по их сохранению. Многие виды животных, находящиеся под угрозой исчезновения, сейчас восстановили свою численность. Это относится к лосю, сайгаку, белой цапле, гаге.

Мероприятиям по сохранению животного и растительного мира способствует организация заповедников и заказников. Помимо охраны редких и исчезающих видов, заповедники служат базой для одомашнивания диких животных, обладающих ценными хозяйственными свойствами. Заповедники являются также центрами по расселению животных, исчезнувших в данной местности, помогают обогащению местной фауны. В России успешно прижилась североамериканская ондатра, дающая ценный мех. В суровых условиях Арктики размножается овцебык, завезённый из Канады и Аляски. Восстановлена численность бобров, почти исчезнувших в нашей стране в начале XX в.

Подобные примеры многочисленны. Они показывают, что бережное отношение к природе, основанное на глубоких знаниях биологии растений и животных, не только сохраняет её, но и даёт значительный экономический эффект.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Мероприятия по охране природы должны носить не благотворительный, а обязательный характер, так как от состояния окружающей среды зависит само существование жизни на Земле.
- Природоохранные мероприятия могут быть эффективными только в том случае, если они основываются на глубоких биологических знаниях.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1** Повторите предыдущий параграф и сформулируйте, зачем и почему необходимы бережное отношение к природе и её охрана.
- 2** В чём значение рационального научно обоснованного природопользования для сохранения многообразия животного и растительного мира?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1** Каким образом живые организмы влияют на глобальные круговороты веществ в природе?
- 2** В чём, по вашему мнению, заключаются вредные последствия расширения сельскохозяйственного производства для биоценозов и биосферы в целом?

Обзор пройденного материала главы 7**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

■ Интенсивное истребление древним человеком крупных травоядных животных привело к сравнительно быстрому сокращению их численности и исчезновению многих видов.

В эпоху неолита, наряду с охотой, рыбной ловлей и собирательством, всё большее значение приобретает процесс производства пищи.

Рост населения, качественный скачок в развитии науки и техники за последние два столетия привели к тому, что деятельность человека стала фактором планетарного масштаба, направляющей силой дальнейшей эволюции биосферы.

Значительные площади поверхности суши исключены из хозяйственной деятельности человека вследствие накопления на ней промышленных отходов и невозможности использования районов, где ведётся разработка и добыча полезных ископаемых.

Биологические и минеральные ресурсы планеты определяют саму возможность существования человечества.

Большинство природных ресурсов являются в большей или меньшей степени исчерпаемыми либо за счёт конечности запасов, либо вследствие преобладания скорости использования над временем воспроизведения.

Для восстановления слоя почвы толщиной 1 см в естественных условиях требуется 250—300 лет.

Многие радиоактивные изотопы имеют длительный период полураспада, оставаясь опасными в течение всего времени своего существования. Изотопы включаются в круговорот веществ, попадают в живые организмы и оказывают губительное действие на клетки.

Проблема рационального использования природных ресурсов, охрана природы от губительных последствий хозяйственной деятельности человека приобрели огромное государственное значение.

Мероприятия по охране природы должны носить не благотворительный, а обязательный характер, так как от состояния окружающей среды зависит само существование жизни на Земле.

Природоохранные мероприятия могут быть эффективными только в том случае, если они основываются на глубоких биологических знаниях.

ВАША БУДУЩАЯ ПРОФЕССИЯ

■ Профессии типа «Человек — Природа» — это профессии, где труд работников направлен на объекты живой природы. Ориентироваться

в этой области помогают такие учебные предметы, как ботаника, зоология, анатомия, физиология, общая биология. Особенность биологических объектов труда состоит в том, что они сложны, изменчивы, нестандартны и трансформируются по своим внутренним законам. И растения, и животные, и микроорганизмы живут, растут, развиваются (а также болеют, гибнут). Специалисту нужно не просто очень многое знать, но и мысленно предвидеть изменения в объектах труда. От него требуются инициатива и самостоятельность в решении конкретных трудовых задач. Важны заботливость и дальновидность, ведь многие изменения в животных и растительных организмах могут оказаться необратимыми. Труд человека в области профессий «Человек — Природа» направлен не только на упомянутые выше объекты. Так, например, растениеводы используют в своей практике разнообразную и сложную технику. Есть даже такие профессии в данной области, которые обязательно требуют художественных склонностей, например, цветоводы-декораторы, техники зелёного строительства (специалисты по озеленению городов, населённых мест).

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

1. Какие виды крупных животных, а также целые сообщества живых организмов находятся под угрозой исчезновения? Предложите возможные меры по их сохранению.
2. К каким отрицательным экологическим последствиям приводят сооружение на реках каскада гидроэлектростанций и зарегулирование стока воды?

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

1. Почему повышение урожайности сельскохозяйственных культур предпочтительнее, чем расширение обрабатываемых площадей?
2. К каким экологическим последствиям приводят крушения нефтеналивных судов?

ЗАДАНИЯ

1. Повторите материалы главы и обоснуйте положение о том, что на современном этапе развития биосферы она является сферой разума — ноосферой.

Бионика

Птица — действующий по математическому закону инструмент, сделать который в человеческой власти со всеми его движениями...

Леонардо да Винчи



С незапамятных времён мысль человека искала ответ на вопрос: может ли человек достичь того же, чего достигла живая природа? Сможет ли он, например, летать, как птица, или плавать под водой, как рыба? Сначала человек мог только мечтать об этом, но вскоре изобретатели начали применять особенности организации живых организмов в своих конструкциях. В этой главе вы познакомитесь с некоторыми такими примерами.

Человек представляет собой высшую ступень развития живой природы не потому, что его чувствительные или рабочие органы и системы лучше, чем у животных. Многочисленные примеры убеждают в том, что у многих животных та или иная система жизнедеятельности во много раз совершенней, чем у человека. Приведём лишь некоторые из них.

Лучшие спортсмены-бегуны на короткие дистанции развивают скорость 40—42 км/ч. В мире животных в 2—3 раза быстрее бегают гепард, страус и некоторые другие. Более того, относительная скорость передвижения и расстояние, на которое могут перемещаться животные, ещё разительнее отличаются от естественных возможностей человека. Количество движений, которое человек способен совершить за 1 секунду, составляет максимум 10—12 (к примеру, постукивания пальцем по столу), а частота взмахов крыла у пчелы — 250—300 в секунду.

Преимущество человека заключается в уникальной способности мозга к мышлению и способности к общественному труду.

В своей практической деятельности человек использует в качестве моделей для конструирования сооружений и механизмов наиболее удачные

приспособления живых организмов к среде их обитания. В наше время появилось самостоятельное направление в науке и технике, цель которого — использовать биологические знания для решения инженерных задач и развития техники. Это направление было названо *бионикой* (от греч. *bion* — ячейка жизни).

Круг вопросов, которые использует бионика, довольно обширен и продолжает расширяться. Для того чтобы получить о них представление, лучше всего рассмотреть несколько примеров.

В 1889 г. в Париже по проекту инженера Ж. Эйфеля была сооружена 300-метровая металлическая ажурная башня, ставшая впоследствии символом столицы Франции. Эта конструкция — яркий пример единства закона формирования естественных и искусственных структур. Учёные обнаружили, что силовые линии в конструкциях башни и в костях птиц и млекопитающих распределяются очень сходно (рис. 8.1), хотя при создании башни инженер не пользовался живыми моделями.

Лёгкая и хрупкая кость, способная выдержать большие нагрузки, стала предметом пристального изучения учёных и архитекторов. Всесторонне исследуя скелет позвоночных и скелетные образования беспозвоночных животных как комплекс расположенных в пространстве опорных элементов,

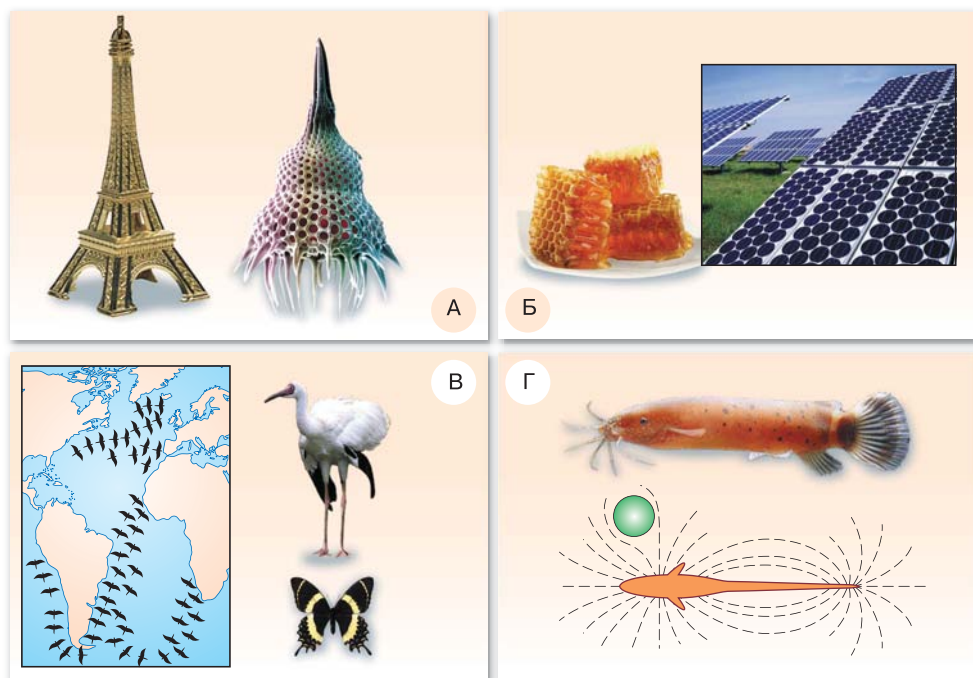


Рис. 8.1. Приспособления у животных и примеры использования их в технике: А — дырчатая ажурная конструкция; Б — ячеистая конструкция; В — ориентация в перелёте птиц и насекомых; Г — электрические рыбы: ориентация в воде

известный математик и конструктор Ле-Реколе установил, что прочность этих биологических конструкций обусловлена соответствующим расположением в них обрамлённых отверстий, соединяемых различным образом, а не плоскостей и пустых пространств. На основе изучения структуры костей и других природных моделей в архитектуре родился принцип дырчатых конструкций, положивший начало разработке новых пространственных систем. Так, французские инженеры использовали этот принцип при строительстве моста, придав ему форму скелета морской звезды.

Для творчества архитекторов природа предоставляет немало образцов подобных конструкций, например скелеты некоторых глубоководных губок и особенно радиолярий — микроскопических организмов, относящихся к типу простейших. Скелеты радиолярий поражают богатством и разнообразием форм и расположением опорных элементов. При удивительной экономии материала они обладают высокой устойчивостью, выдерживая давление воды на больших глубинах. Это яркий пример достижения максимальной прочности при минимальной затрате материала (см. рис. 8.1).

Ле-Реколе, исследовав строение некоторых радиолярий, разработал ряд конструкций универсальных ячеек, которые могут быть использованы в создании различных сооружений — от перекрытий залов до мостов и плотин. Возможно, в будущем они найдут применение и в оборудовании, предназначенном для полётов в космос, поскольку в подобных условиях требуется принимать во внимание не только прочность конструкции, но и количество материала, необходимого для его изготовления.

Дырчатые конструкции — не единственная возможность построения объектов. В природе встречаются разнообразные формы скелетных элементов — окружности и овалы, ромбы и кубы, треугольники, квадраты и многоугольники. Комбинируя их, природа создала бесконечное множество сложных, красивых, лёгких, прочных и экономичных конструкций. Части живых организмов нередко построены из элементов сходной формы. Таковы лепестки цветков, чешуи семян злаков, чешуя рыб, панцирь броненосцев и т. д. Повторяемость однотипных структурных элементов в природе — закономерное явление. Естественный отбор сохраняет структуры, наиболее совершенные в функциональном отношении и наиболее экономные по затрате материала. В этом отношении хорошим примером служит фигура, составленная из плотно сомкнутых правильных шестиугольников или шестигранников. Она очень часто встречается в природе: панцири черепах, чешуя змей, проводящие сосуды растений содержат в своей структуре шестиугольники. Однако среди этих природных шестигранных конструкций наиболее замечательное творение — пчелиные соты. Это самая экономная и самая ёмкая форма, единственным элементом которой является шестигранная призма.

Принцип строения живых конструкций из унифицированных элементов используется строителями при возведении секционных домов из однотипных элементов. Конструкция пчелиных сот легла в основу изготовления «отовых панелей» для строительства жилых домов. Шестигранная призма — основной элемент «отовых» элеваторов под Новосибирском и в Целино-

граде. Успешно используют принцип пчелиных построек и гидростроители при наведении плотин и создании других гидротехнических сооружений.

Это всего лишь небольшой ряд примеров того, как человек применяет в строительстве биологические модели. Но животные обладают и многими другими свойствами, которые используются или могут быть использованы человеком.

Основоположник современной аэродинамики Н. Е. Жуковский тщательно изучил механизм полёта птиц и условия, позволяющие им свободно парить в воздухе. На основании исследования полёта птиц появилась авиация.

Ещё более совершенным летательным аппаратом в живой природе обладают насекомые. По экономичности полёта, относительной скорости и манёвренности они не имеют себе равных ни в живой природе, ни тем более в современной авиационной технике. Бабочки адмиралы или репейницы, совершая дальние полёты из Европы в Африку, находятся в воздухе в течение многих часов. Они преодолевают такие гигантские расстояния благодаря высокой экономичности работы своего организма. Бабочки расходуют «горючего» (жиры, углеводы и др.) гораздо меньше, чем птицы при дальних перелётах или современный самолёт. Хотя скорость их полёта, казалось бы, невелика по сравнению с современными авиалайнерами (самая большая у стрекозы-дозорщика — 144 км/ч), но если сравнивать, сколько раз укладывается длина тела летуна в полёте за единицу времени, то окажется, что относительная скорость у насекомых намного больше. Несравнимо выше и манёвренность полёта насекомых. Так, некоторые виды мух могут подолгу зависать в воздухе, а затем быстро снижаться и мягко вертикально садиться даже на неровную площадку. Бабочки на лету останавливаются перед цветком, чтобы собрать нектар. Стрекозы, осы, пчёлы и бабочки-бразники могут передвигаться в воздухе не только вперёд, но и назад, вправо, влево, вверх и вниз. Чтобы в полёте не возникали вредные колебания, на концах крыльев у быстролетающих насекомых имеются хитиновые утолщения. Сейчас авиаконструкторы применяют подобные приспособления для крыльев самолётов, тем самым устраняя опасность вибрации машины. Полёт насекомых — процесс сложный и во многом ещё не изученный. Однако идея создания летательного аппарата, в основе которого лежал бы принцип полёта насекомых, ждёт своего разрешения. Изучение способности насекомых к полёту открывает перед человеком бесконечное разнообразие оригинальных решений в конструкции летательных аппаратов. Там, где удастся раскрыть их секреты, конструкторы стремятся создать аналогичные системы. Например, была выявлена функция жужжальцев — недоразвитых задних крыльев в виде булавовидных придатков, имеющих у некоторых насекомых, например у мух. Во время полёта жужжальца колеблются в определённой плоскости и служат животному органом, определяющим отклонение от горизонтального положения — положения равновесия. На принципе жужжальца был создан прибор гиротрон, применяемый в скоростных самолётах и ракетах для определения углового отклонения стабильности полёта.

Долгое время оставалась загадочной способность летучих мышей летать в полной темноте и ловить насекомых, не задевая встречные предме-

ты. Лишь в наше время было установлено, что летучие мыши могут издавать и воспринимать звуки с частотой выше 20 тыс. Гц, т. е. ультразвуки, недоступные слуху человека. Бесперывно испуская в полёте ультразвуковые сигналы и воспринимая их отражение от окружающих предметов, летучие мыши как бы ощупывают в темноте окружающее пространство. У некоторых видов летучих мышей ультразвук распространяется через рот, у других видов — через ноздри. «Приёмником» отражённого звука служат уши, которые у некоторых видов, например ушанов, достигают значительных размеров. С помощью такого «ультразвукового» видения летучие мыши способны обнаружить в темноте натянутую проволоку диаметром всего лишь 0,05 мм, уловить эхо, которое в 2 тыс. раз слабее посылаемого сигнала, на фоне множества звуковых помех могут выделить тот звук, который им нужен.

Интересно, что некоторые ночные бабочки также чувствительны к ультразвуковым сигналам. Они воспринимают импульсы летучих мышей на гораздо большем расстоянии, чем сама мышь, т. е. несколько раньше, чем та может их обнаружить, и таким образом избегают опасности. Другие бабочки сами способны издавать ультразвуковые сигналы, которые отпугивают мышей, предупреждая их о несъедобности насекомого.

Изучение природных ультразвуковых локаторов только начинается. Моделирование локаторов по живым образцам открывает новые перспективы их использования в качестве чувствительных элементов различных технических систем. По аналогии с принципом, лежащим в основе эхолокации у летучих мышей, конструируются модели приборов-локаторов для слепых и приборы для народного хозяйства. Ориентироваться в пространстве животные могут и не прибегая к эхолокаторным системам, тем более что они высокоэффективны на небольшом расстоянии. Один из примеров ориентации на основе иных принципов — способность к навигации у перелётных птиц и некоторых водных животных.

С наступлением осени большая часть птиц покидает свои гнездовья и отправляется в далёкое путешествие к местам зимовок, а весной снова возвращается домой. Птицы летят группами и в одиночку, днём и ночью, в туман и сильный ветер, подчас покрывая огромные расстояния. Так, в далёкую Африку улетаю наши горихвостки, мухоловки-пеструшки, ласточки, журавли, аисты, утки. Известны своими дальними перелётами полярные крачки. В течение трёх месяцев они достигают Антарктиды, пролетая только в один конец около 16 тыс. км.

Способность к навигации у птиц — врождённое чувство. Кукушонок, выросший в чужом гнезде, не летит в ту сторону, куда зовут его приёмные родители, а следует традиционным кукушиным путём, хотя летит впервые. У некоторых птиц, например у аистов, молодняк улетаёт зимовать раньше взрослых. Врождённый «птичий компас» укажет молодому аисту правильный путь к незнакомой ему далёкой Африке.

Не только птицы, но и рыбы, например лососи, совершают путешествие из океана в родные реки. Преодолевая течения и пороги, они плывут на нерест вверх по рекам, стремясь во что бы то ни стало попасть туда, где появились на свет.

Навигационные способности мигрирующих животных поражают своей точностью, однако устройство и принцип работы систем, обеспечивающих ориентацию, пока не до конца разгаданы. Учёные предполагают, что птицы и другие животные днём ориентируются по Солнцу, а ночью — по звёздам. Но поскольку Земля вращается вокруг своей оси и положение звёзд и Солнца непрерывно меняется, для правильного определения направления полёта необходимо знать время. Оказалось, что у птиц есть своеобразные биологические часы. Птицы хорошо чувствуют и магнитное поле Земли, силовые линии которого, возможно, также служат ориентиром в полёте.

Инженеры-бионики многих стран работают над выяснением механизмов ориентации животных, раскрытие которых даст возможность человеку создать принципиально новые навигационные приборы, а также роботов, самостоятельно ориентирующихся в пространстве.

Не менее интересным и перспективным для использования оказалось проявление электрической активности в живой природе, обнаруженное в конце XVIII в. знаменитыми учёными Гальвани и Вольты у животных (лягушки). В дальнейшем оказалось, что электрическая активность — неотъемлемое свойство живой материи. Электричество генерирует нервные, мышечные и железистые клетки всех живых существ. Эта способность наиболее хорошо изучена у рыб. В настоящее время известно, что около 300 видов рыб способны создавать и использовать биоэлектрические поля. По силе и характеру разрядов такие рыбы делятся на сильноэлектрические и слабоэлектрические. К первым относятся южноамериканские электрические угри, африканские электрические сомы и морские электрические скаты. Эти рыбы генерируют очень сильные заряды: угри создают напряжение до 600 В, сомы — до 350 В. Напряжение тока у морских скатов невысоко, но сила тока их разрядов иногда достигает 60 А, что позволяет им парализовать даже крупную добычу.

Рыбы второго типа — обитатели мутных, илистых водоёмов Африки и Юго-Восточной Азии — не испускают отдельных разрядов. Они посылают в воду почти непрерывные и ритмичные импульсы высокой частоты, создавая вокруг своего тела электрическое поле. Конфигурация этого поля, которую можно представить в виде магнитно-силовых линий, зависит от формы самой рыбы. Если в электрическое поле попадает объект, отличающийся по своей электропроводности от воды, конфигурация поля изменится. Рыбы воспринимают эти изменения с помощью электрических рецепторов, расположенных у большинства в области головы, и определяют местонахождение объекта (см. рис. 8.1). Таким образом эти рыбы осуществляют электрическую локацию, позволяющую на расстоянии найти пищу, избежать встречи с врагами и столкновения с неодушевлёнными предметами в мутной воде, где всецело полагаться на зрение не приходится.

Приёмы, с помощью которых электрические рыбы ловят добычу и защищаются от врагов, подсказывают человеку технические решения при разработке установок для промыслового электролова или отпугивания рыб от разводимых в водоёмах моллюсков и растений. Исключительные перспективы открывает моделирование электрических систем локации у рыб. В современной подводной локационной технике пока не существует надёжных

систем поиска различных объектов в водной среде, которые работали бы по образцу электролокаторов рыб. Работа по созданию подобной аппаратуры интенсивно ведётся учёными многих стран.

На протяжении многих миллионов лет биологической эволюции на Земле в процессе естественного отбора возникало и вымирало огромное количество самых разнообразных видов живых организмов. Изучение существующих и вымерших в далёкие геологические эпохи видов живых организмов показало, что и в древности существовали формы жизни, изучение организации которых может пригодиться для создания или усовершенствования некоторых машин и механизмов.

Перечислить всё, чем занимается бионика, нелегко. Трудно также охарактеризовать все живые объекты, принципы организации которых могут помочь человеку в решении разнообразных научно-технических задач. Однако проблемы, так или иначе связанные с бионикой, можно разделить на три группы. К первой относятся те, для решения которых достаточно имеющихся знаний биологии. Ко второй группе относятся вопросы, решение которых нужно искать, изучая живую природу и совершенствуя биологические знания. Наконец, есть вопросы, и, быть может, самые увлекательные, которые природа пока ещё таит в себе.

Задачи бионики решаются сегодня силами учёных многих специальностей: физиков, химиков, математиков, кибернетиков, инженеров различных специальностей.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- С древнейших времён человечество стремилось воплотить особенности организации живых организмов в произведения своего труда.
- В настоящее время всё больше достижений биологических дисциплин находят применение в технике.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Какие особенности строения и приспособления животных и растений используются человеком в строительстве, промышленности и т. д.?
- 2 Какое значение имеет изучение биологии для научно-технического прогресса?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

- 1 Как можно использовать в строительстве принципы организации растительных организмов?
- 2 Приведите примеры эхолокации и электролокации у живых организмов.

Обзор пройденного материала главы 8

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В своей практической деятельности человек использует в качестве моделей для конструирования сооружений и механизмов наиболее удачные приспособления живых организмов к среде их обитания.

На основе изучения структуры костей и других природных моделей в архитектуре родился принцип дырчатых конструкций, положивший начало разработке новых методов в строительстве.

Естественный отбор сохраняет структуры, наиболее совершенные в функциональном отношении и наиболее экономные по затрате материала.

Среди природных шестигранных конструкций наиболее замечательное творение — пчелиные соты. Это самая экономная и самая ёмкая форма, единственным элементом которой является шестигранная призма.

Основоположник современной аэродинамики Н. Е. Жуковский тщательно изучил механизм полёта птиц и условия, позволяющие им свободно парить в воздухе. На основании исследования полёта птиц появилась авиация.

Полёт насекомых — процесс сложный и во многом ещё не изученный. Однако идея создания летательного аппарата, в основе которого лежал бы принцип полёта насекомых, ждёт своего разрешения.

С помощью «ультразвукового» видения летучие мыши способны обнаружить в темноте натянутую проволоку диаметром всего лишь 0,05 мм, уловить эхо, которое в 2 тыс. раз слабее посылаемого сигнала, на фоне множества звуковых помех могут выделить тот звук, который им нужен.

Навигационные способности мигрирующих животных поражают своей точностью, однако устройство и принцип работы систем, обеспечивающих ориентацию, пока не до конца разгаданы.

Приёмы, с помощью которых электрические рыбы ловят добычу и защищаются от врагов, подсказывают человеку технические решения при разработке установок для промыслового электролова или отпугивания рыб от разводимых в водоёмах моллюсков и растений.

ВАША БУДУЩАЯ ПРОФЕССИЯ

Бионик — специалист в области бионики, научной дисциплины, связанной с поиском возможностей решения различных инженерных задач на основе анализа структуры и жизнедеятельности организмов. Поэто-

му бионика тесно связана как с биологией, физикой, химией, кибернетикой, так и с инженерными дисциплинами — электроникой, связью, навигацией и т. п. Среди главных направлений работ по бионике — изучение нервной системы и моделирование нервных клеток и связей между ними в целях совершенствования вычислительной техники и разработки новых элементов и устройств автоматики и телемеханики (нейробионика); исследование органов чувств с целью создания различных датчиков и систем обнаружения; изучение принципов ориентации, локации и навигации у животных для использования их в технике. Спектр методов, используемых биониками, чрезвычайно широк — от классических методов анатомического препарирования до создания математических моделей изучаемых явлений и структур. Бионикам приходится работать скальпелем и паяльником, энтомологическим сачком и логарифмической линейкой. Широкая общебиологическая и этологическая эрудиция должна сочетаться у них с основательной математической подготовкой, умением находить неординарные инженерные решения, способностями к техническому конструированию.

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

1. Наблюдения за какими способами передвижения живых организмов может использовать человек для создания транспортных средств?
2. С какой целью проводят исследования электрической активности тканей растений и животных?

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

1. Как можно использовать в строительстве сооружений на приусадебном участке принципы структурной организации растений?
2. Какие особенности организации водных животных лежат в основе конструирования судов?

ЗАДАНИЯ

1. Найдите в специальной литературе по бионике примеры использования структурно-функциональной организации животных различных систематических групп (червей, членистоногих, моллюсков, иглокожих и хордовых) и растений в разных областях производственной деятельности человека.

Заключение

Вы закончили изучение учебника общей биологии. Перелистайте эту книгу ещё раз. Круг вопросов, с которыми вам надо было познакомиться в процессе учёбы, очень широк. Это не случайно: сложность и многообразие жизни, развивавшейся и усложнявшейся миллиарды лет, столь велики, что одни её явления мы только начинаем понимать, а другие ещё ждут изучения. Очевидно, что в этой небольшой книге могли быть только затронуты, приоткрыты важные вопросы организации живых систем, их функционирования и развития.

Возникновение жизни и функционирование живых организмов обусловлены естественными законами. Познавание этих законов позволяет не только составить научную картину мира, но и использовать их для практических целей. Раскрытие молекулярных основ наследственности сделало возможным возникновение генетической инженерии, на основе изучения взаимоотношений между организмами созданы биологические методы борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур, многие приспособления живых организмов послужили моделями для конструирования эффективных искусственных сооружений и механизмов. В то же время незнание или игнорирование законов биологии приводит к тяжёлым последствиям как для природы, так и для человека. Настало время, когда от поведения каждого из нас — и на работе, и в часы отдыха — зависит сохранность окружающего нас мира. Хорошо отрегулировать двигатель автомобиля, предотвратить сброс ядовитых отходов в реку, предусмотреть в проекте гидроэлектростанции обводные каналы для рыбы (и построить их!), удержаться от желания собрать букетик полевых цветов — всё это позволит сохранить окружающую среду — среду нашей жизни — для будущих поколений.

Исключительная способность живой природы к восстановлению создала иллюзию её неуязвимости к разрушительным действиям человека, безграничности её ресурсов. Мы доказали, что это не так. Вся хозяйственная деятельность человека сейчас должна строиться с учётом принципов организации биосферы. Если убеждённость в этом возникнет при чтении данного учебника, его задача выполнена.

Приложение

Исследуем

1. Информационно-исследовательский проект «Роль кругосветного путешествия Ч. Дарвина на корабле «Бигль» в становлении эволюционной теории» (на основе анализа основной и дополнительной литературы).
2. Исследование индивидуальной наследственной изменчивости среди учащихся школы: рост, масса тела. Построение вариационной кривой с последующим формулированием выводов и составлением отчётов.
3. Исследование приспособленности организмов к среде обитания (на примере светолюбивых и теневыносливых растений; домашних животных).
4. Наблюдение в окружающей природе примеров внутривидовой и межвидовой борьбы за существование. Составление отчёта.
5. Исследование плотности популяций и видового состава сообществ живых организмов на школьном дворе, около дома, в ближайшем парке.
6. Изучение форм взаимоотношений организмов растений, грибов и животных в окружающей природе (на пришкольном участке, на даче, в лагере отдыха и т. д.). Составление цепей и сетей питания.
7. Определение источников загрязнения среды в школе и обсуждение мер снижения их воздействия на человека.
8. Составление плана мероприятий по охране природы и научно обоснованного и сбалансированного увеличения разнообразия растений на пришкольном участке (даче).

Проектируем

1. Подготовка презентации или доклада на тему «Сравнение эволюционных представлений Ж.-Б. Ламарка и Ч. Дарвина».
2. Подготовка презентации или доклада на тему «Роль изоляции в возникновении различий между близкородственными популяциями одного вида».
3. Подготовка презентации или доклада на тему «Формы естественного отбора и их роль в видообразовании».
4. Подготовка презентации или доклада на тему «Доказательства эволюции».

5. Подготовка презентации или доклада на тему «Примеры аллопатрического видообразования» (на основе изучения дополнительной литературы и интернет-источников).
6. Подготовка презентации или доклада на тему «Симпатрическое видообразование и его роль в развитии животного и растительного мира Земли» (на основе изучения дополнительной литературы и интернет-источников).
7. Подготовка презентаций или сообщений (на основе основной и дополнительной литературы, учебников по ботанике и зоологии) на следующие темы: «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение эукариот», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение многоклеточных», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение плоских червей», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение круглых червей», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение кольчатых червей», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение моллюсков», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение членистоногих», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение хордовых», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение рыб», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение амфибий», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение рептилий», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение птиц», «Ароморфозы, сопровождавшие возникновение млекопитающих».
8. Подготовка презентации и доклада на тему «Роль факторов среды в развитии признаков у растений и животных» (долгосрочный проект на основе основной, дополнительной литературы и собственных исследований).
9. Межпредметный проект (биология, химия, география) «Условия среды как определяющий фактор видообразования».
10. Подготовка презентации или сообщения на тему «Характеристика школы как экосистемы. Экологический паспорт школы».

Решаем проблему

1. Как соотносится теория биологической эволюции со взглядами креационистов?
2. У здоровых родителей обычно рождаются здоровые и крепкие дети, а у ослабленных и больных особей потомство не отличается хорошим здоровьем. Как вы думаете, не справедливо ли в данном случае утверждение Ламарка о наследовании приобретённых признаков?
3. Анализируя собственную жизнь, нетрудно убедиться, что каждому человеку свойственно стремление к самосовершенствованию. Почему же это положение эволюционной теории, постулируемое Ж.-Б. Ламарком, считается неверным?
4. Ж. Кювье объяснял смену фауны и флоры всемирными катастрофами типа Всемирного потопа. Эти воззрения впоследствии были признаны ошибочными сторонниками эволюционной теории. В современной эволюционной биологии, напротив, считают, что каждому всплеску видо-

образования предшествует грандиозное вымирание. Как разрешить это противоречие?

5. Если эволюция носит прогрессивный характер, то почему в современном мире существуют организмы с разным уровнем организации? Почему не все обезьяны стали людьми?
6. Почему на нашей планете не сохранилось большое количество реликтовых форм, таких как гаттерия, гингко, сумчатые звери и др.?
7. Если климатические условия на Земле зависят от широты местности, почему на одной и той же широте встречаются различные биомы?
8. Симбиотические и антибиотические отношения в биоценозах очевидно влияют на характер сообщества. Имеет ли значение для устойчивости биоценозов нейтраллизм?

Оцениваем

1. Представление античных и средневековых учёных о сущности и развитии жизни на Земле.
2. Значение представлений средневековых учёных о происхождении животных и растений.
3. Положительные стороны эволюционного учения Ж.-Б. Ламарка.
4. Роль естественно-научных предпосылок в формировании эволюционной теории.
5. Значение естественного отбора и процессов самоорганизации в процессе эволюции.
6. Роль палеонтологии в развитии представлений о ранних этапах эволюции жизни на Земле.
7. Значение теории Ч. Дарвина в развитии мировоззрения человека.
8. Значение молекулярно-генетических методов для изучения эволюционного процесса.
9. Роль знаний химии и физики в формировании экологических представлений.
10. Значение знаний в области ботаники и зоологии для формирования представлений о естественной классификации животных и растений.
11. Роль общебиологических знаний в разработке схем рационального природопользования.

Темы для дискуссии

1. Роль симбиоза в процессе развития жизни на Земле. (Есть ли горизонтальный перенос генов? Есть ли необходимость?)
2. Как вы думаете, есть ли в современной теории эволюции место для наследования приобретённых признаков?
3. Если эволюционный процесс носит адаптивный характер, как объяснить появление организмов с более высоким уровнем организации, при условии, что ароморфозы не являются частными приспособлениями?

4. Экологи отмечают, что условия обитания на нашей планете постоянно меняются. В результате многие виды растений и животных вымирают на наших глазах. Как вы думаете, почему в современных условиях на фоне изменений условий существования не происходит столь же заметного видообразования?
5. Как соотнести такие понятия, как «биологический прогресс» и «морфофизиологический прогресс»?
6. Почему морфофизиологический регресс рассматривают как один из путей достижения биологического прогресса? Нет ли в этом противоречия?
7. Могли бы динозавры существовать в настоящее время? Какую экологическую нишу они бы заняли?
8. Абиотические факторы определяют распределение живых организмов по планете. Как вы думаете, достаточно ли при оценке состояния биоценоза рассматривать только абиотические или биотические факторы среды обитания?
9. Ведущими во взаимоотношениях в биоценозах являются симбиотические и антибиотические взаимоотношения. Можно ли без ущерба изъять из сообщества организмы, не вступающие в партнёрские или антагонистические отношения с представителями других видов?
10. Живая природа обладает колоссальным потенциалом для восстановления. Имеют ли, по вашему мнению, смысл дорогостоящие природоохранные мероприятия?

Памятки для ученика

Памятка № 1. Этапы поиска путей решения проблемы

1. Выявление проблемы (противоречия между старым и новым знанием, конфликта точек зрения, ситуации неопределённости).
2. Выдвижение гипотезы решения проблемы.
3. Проверка гипотезы: выбор методов, отбор источников информации, получение и интерпретация результатов.
4. Подтверждение или опровержение гипотезы. При опровержении — выдвижение новой гипотезы.

Памятка № 2. Этапы работы над проектом.

Цель проектной деятельности — создание нового материального или нематериального продукта

1. Выбор тематики.
2. Определение задач, которые необходимо решить для создания продукта.
3. Планирование деятельности по решению задач.
4. Работа над проектом.
5. Оформление результатов работы.
6. Презентация проекта.

Памятка № 3. Этапы проведения исследования.**Цель исследовательской деятельности — создание нового знания**

1. Выбор темы.
2. Определение задач, которые необходимо решить.
3. Выдвижение гипотезы, позволяющей решить поставленные задачи.
4. Проверка гипотезы: выбор методов, отбор источников информации, получение и интерпретация результатов.
5. Оформление результатов работы.
6. Защита работы.

Памятка № 4. Некоторые критерии оценки проекта и исследования

1. Значимость и актуальность темы.
2. Активность участников проекта, исследования.
3. Глубина проникновения в проблему.
4. Качество представления и оформления результатов.
5. Качество презентации.

Основные вехи в развитии биологии

384—322 гг. до н. э. Даты жизни Аристотеля, который высказал идею о лестнице существ. Аристотель предполагал, что возникновение живого из неживой природы возможно под действием некой силы творения — энтелехии (в пер. с греч. — действие).

1609 г. Изготовлен первый микроскоп (Г. Галилей).

1628 г. Открыто кровообращение (У. Гарвей).

1651 г. Сформулировано положение «Всё живое из яйца» (У. Гарвей).

1661 г. Открыты капилляры (М. Мальпиги).

1665 г. Обнаружена клеточная структура пробковой ткани (Р. Гук).

1668 г. Экспериментально доказано развитие личинок мух из отложенных яиц (Ф. Реди).

1674 г. Открыты бактерии и простейшие (А. Левенгук).

1676 г. Описаны пластиды и хроматофоры (А. Левенгук).

1677 г. Впервые увиден сперматозоид человека (А. Левенгук).

1688 г. Введено понятие о виде как систематической единице (Д. Рей).

1735—1755 гг. Разработаны принципы систематики и бинарная номенклатура (К. Линней).

1778 г. Открыто выделение кислорода растениями (Дж. Пристли).

1779 г. Показана связь между светом и зелёной окраской растений (Я. Ингенхауз).

1809 г. Сформулирована первая теория эволюции органической природы (Ж.-Б. Ламарк).

1814 г. Установлена способность экстрактов ячменя превращать крахмал в сахар с помощью ферментов (Г. Кирхгоф).

1828 г. Сформулирован закон зародышевого сходства (К. М. Бэр).

1831 г. Открыто клеточное ядро (Р. Броун).

1839 г. Сформулирована клеточная теория (Т. Шванн, М. Шлейден).

1853 г. Описано проникновение сперматозоида в яйцеклетку (Ф. Кебер).

- 1858 г.** Сформулировано положение «Каждая клетка из клетки» (Р. Вирхов).
- 1859 г.** Опубликовано книга Ч. Дарвина «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствующих пород в борьбе за жизнь». Создана эволюционная теория.
- 1862 г.** Опровергнута теория самопроизвольного зарождения (Л. Пастер).
- 1864 г.** Сформулирован биогенетический закон (Ф. Мюллер, Э. Геккель).
- 1865 г.** Опубликовано законы наследственности (Г. Мендель).
- 1868 г.** Открыты нуклеиновые кислоты (Ф. Мишер).
- 1870—1880 гг.** Описаны механизмы нервной регуляции пищеварения (И. П. Павлов).
- 1871 г.** Установлено, что белки состоят из аминокислот (Н. Н. Любавин).
- 1874 г.** Открыт митоз у растительных клеток (И. Д. Чистяков). Позже В. Флеминг, Э. Страсбургер и другие описали процесс митотического деления клеток различных растительных и животных организмов.
- 1875 г.** Доказано, что процессы окисления происходят в тканях, а не в крови (Э. Пфлюгер).
- 1878 г.** Открыто митотическое деление животных клеток (В. Флеминг, П. И. Перемежко).
- 1880 г.** Открыты витамины (Н. И. Лунин).
- 1880-е гг.** Выявлено, что все живые клетки построены из веществ, в состав которых входят аминокислоты, азотистые основания и стерин (К. Коссель).
- 1882 г.** Открыт возбудитель туберкулёза; выявлен в тканях организма (Р. Кох).
- 1883 г.** Сформулирована биологическая (фагоцитарная) теория иммунитета (И. И. Мечников).
- 1890—1891 гг.** Продемонстрирована возможность создания у человека и животных пассивного иммунитета путём введения готовых антител: применение этого метода в лечении дифтерии (Э. А. фон Беринг).
- 1890 г.** Доказана клеточная структура нервной системы, которая до этого считалась синцитием (С. Рамон-и-Кахаль).
- 1890 г.** Открыт витамин В₁ как средство против болезни бери-бери (полиневрита) (Х. Эйкман).
- 1892 г.** Открыты вирусы (Д. И. Ивановский).
- 1895 г.** Обнаружена в крови система комплемента; создан метод определения антигенов (Ж. Борде).
- 1898 г.** Впервые описан мейоз (В. И. Беляев).
- 1898 г.** Открыто двойное оплодотворение у цветковых растений (С. Г. Навашин).

- 1899 г.** Открыты бактериофаги (Н. Ф. Гамалея).
- 1900 г.** Вторично открыты законы наследования признаков (К. Корренс, Э. Чермак, Г. де Фриз).
- 1900—1901 гг.** Сформулировано представление об условно-рефлекторной деятельности (И. П. Павлов).
- 1901 г.** Описаны группы крови (система АВ0), что сделало переливание крови практически выполнимым (К. Ландштайнер).
- 1903 г.** Установлена роль зелёных растений в космическом круговороте энергии и веществ (К. А. Тимирязев).
- 1906 г.** Открыт витамин А; описано его влияние на рост и развитие организма (Ф. Хопкинс).
- 1910 г.** Сформулирована теория филэмбриогенеза — макроэволюции (А. Н. Северцов).
- 1914 г.** Сформулирована хромосомная теория наследственности (Т. Морган).
- 1920-е гг.** Открыт витамин С; уточнено, как происходит процесс биологического окисления (А. фон Сьент-Дьерди).
- 1920 г.** Сформулирован закон гомологических рядов в наследственной изменчивости (Н. И. Вавилов).
- 1921 г.** Доказан факт химической передачи в синапсах нервной системы (О. Леви).
- 1922 г.** Открыто влияние одной части зародыша на другую и выяснена роль этого явления в детерминации частей развивающегося зародыша (Г. Шпеман).
- 1923 г.** Охарактеризован фотосинтез как окислительно-восстановительная реакция (Т. Тунберг).
- 1924 г.** Опубликовано естественно-научная теория происхождения жизни на Земле (А. И. Опарин).
- 1926 г.** Основана наука генетика популяций, ставшая основой синтетической теории эволюции — синтеза генетики и классического дарвинизма (С. С. Четвериков).
- 1926 г.** Опубликовано труд В. И. Вернадского «Биосфера».
- 1926 г.** Обнаружено мутагенное действие рентгеновских лучей (Х. Меллер).
- 1929 г.** Выделен природный пенициллин (А. Флеминг).
- 1931 г.** Сконструирован электронный микроскоп (Э. Руска, М. Кноль).
- 1933 г.** Доказано линейное расположение генов в хромосомах (Т. Морган).
- 1937 г.** Описан цикл трикарбоновых кислот — важнейшая часть процесса тканевого дыхания (Х. Кребс).

- 1940-е гг.** Открыт механизм цветовосприятия (Р. Гранит).
- 1940 г.** Получен химически чистый антибиотик пенициллин (Г. Флори, Э. Чейн).
- 1940 г.** Разработана теория биогеоценозов (В. Н. Сукачёв).
- 1943 г.** Доказано существование спонтанных мутаций (С. Лурия, М. Дельбрюк).
- 1943 г.** Обнаружен витамин К, препятствующий разрушению сосудов (Х. Дам).
- 1944 г.** Доказана генетическая роль ДНК (О. Эвери, С. Маклеод, М. Маккарти).
- 1945 г.** Открыта эндоплазматическая сеть (К. Портер).
- 1945 г.** Доказана иммунологическая природа отторжения при трансплантации (пересадке) тканей и органов (П. Медавар).
- Середина 1940-х гг.** Описаны с помощью электронной микроскопии структура эндоплазматического ретикулума (А. Клод), рибосомы и комплекс Гольджи (Д. Палладе), митохондрий и лизосом (К. де Дюв).
- 1946 г.** Открыта система рекомбинаций у бактерий (Д. Ледерберг, Э. Татум).
- 1948 г.** Обосновано единство принципов управления в кибернетических системах и живых организмах (Н. Винер).
- 1948 г.** Детально описаны функции промежуточного мозга (В. Гесс).
- 1940—1950-е гг.** Обнаружены гены, определяющие возможность пересадки тканей от одного животного к другому (Д. Снелл); открыта аналогичная система генов у человека — главный комплекс гистосовместимости (Ж. Доссе).
- 1950-е гг.** Доказано, что часть структурных элементов хромосомы способна перемещаться по самой хромосоме и к другой хромосоме — регуляция экспрессии генов (Б. Мак-Клинтон).
- 1950-е гг.** Установлена роль фосфорилирования белков как связующего звена между вторичными посредниками и конкретными биохимическими реакциями (Э. Фишер, Э. Кребс).
- 1950—1970-е гг.** Открыта новая группа биологически активных веществ — простагландинов; изучено их влияние на процессы жизнедеятельности организмов (У. фон Эйлер, М. Гольдблатт, С. Бергстрем, Б. Самуэльсон, Д. Вейн).
- 1953 г.** Сформулированы представления и создана модель структуры ДНК (Д. Уотсон, Ф. Крик).
- 1957 г.** Открыты механизмы биологического синтеза ДНК и РНК вне живого организма — *in vitro* (С. Очоа, А. Корнберг).

- 1960 г.** Установлена возможность гибридизации соматических клеток (Г. Барский).
- 1960-е гг.** Описаны различия между функциями правого и левого полушарий головного мозга (Р. Сперри).
- 1961 г.** Определены тип и общая природа генетического кода (Ф. Крик, Л. Барнет, С. Бреннер, Р. Уотс-Тобин).
- 1961 г.** Начато клонирование животных (Дж. Гердон).
- 1962 г.** Сформулированы представления о регуляции активности генов специальными генами-операторами (Ф. Жакоб, Ж. Моно).
- 1965—1966 гг.** Расшифрован триплетный генетический код в молекулах ДНК и РНК (М. Ниренберг, Х. Корана), раскрыта структура транспортной РНК (Р. Холли).
- 1969 г.** Раскрыт механизм репродукции вирусов (А. Херши).
- 1970 г.** Осуществлён химический синтез гена (Х. Корана).
- 1970 г.** Открыта обратная транскрипция (Х. Темин, Д. Балтимор).
- Начало 1970-х гг.** В клеточной мембране обнаружены G-белки, действующие как передатчики сигналов от рецептора к системе вторичных посредников (М. Родбелл, А. Джилмен).
- 1970-е гг.** Обнаружены гены, регулирующие переход от одного периода клеточного деления к следующему (Л. Хартвелл).
- 1973 г.** Опубликованы результаты новых экспериментов по молекулярному клонированию (С. Коэн, А. Чанг).
- 1973 г.** Присуждена Нобелевская премия за создание этологии — науки о поведении животных; работы проводились в 1-й половине XX в. (К. фон Фриш, К. Лоренц, Н. Тинберген).
- 1974 г.** Установлена связь между данными генетического анализа и развитием органов у нематоды *C. elegans* (С. Бреннер).
- 1975—1980 гг.** В белковой молекуле обнаружен особый участок — транспортный код, который направляет синтезируемый белок к определённой части клетки и способствует проникновению его сквозь мембраны (Г. Блобел).
- 1976 г.** Доказано, что апоптоз является частью нормального процесса дифференцировки клеток; выявление мутаций одного из генов, регулирующих апоптоз (Д. Салстон).
- 1977 г.** Установлено, что ген присутствует в ДНК и РНК, как правило, в виде отдельных сегментов — экзонов (дополнительная возможность рекомбинации генов) (Р. Робертс, Ф. Шарп).
- 1978 г.** Обнаружено пространственно-временное соответствие между расположением генов в хромосоме и областями тела, развитие которых они направляют (Э. Льюис).

- 1980 г.** Выявлены гены, имеющие в ходе раннего эмбрионального развития ключевое значение для закладки схемы тела и формирования его сегментов (К. Нюсслайн-Фольхард, Э. Вейсхаус).
- 1982 г.** Показана возможность изменения фенотипа млекопитающих с помощью рекомбинантных молекул ДНК (Р. Полмитер, Р. Бринстер).
- 1985 г.** Открыты прионы — клеточные белки, обычно безвредные, но иногда способные изменять свою структуру и превращаться в возбудителей инфекционных заболеваний (С. Прузинер).
- 1986 г.** Установлено, что окись азота — NO является передатчиком сигналов от одной клетки к другой, — новый принцип передачи сигналов в биологических системах (Р. Фурчготт, Л. Игнарро, Ф. Мюрад).
- 1986 г.** Описаны ключевые гены, регулирующие апоптоз у нематоды *C. elegans* и у человека (Р. Хорвитц).
- 1995 г.** Открыт генетический контроль механизмов регуляции ранних этапов эмбрионального развития (Э. Льюис и др.).
- 2000 г.** Описаны синаптические механизмы памяти (А. Карлсон и др.).
- 2001 г.** Открыты ключевые механизмы регуляции митотического и жизненного цикла клеток (Л. Хартвелл и др.).
- 2003 г.** Завершён международный проект «Геном человека».
- 2006 г.** Открыт эффект регуляции активности генов молекулами РНК (Э. Фрайер, К. Мерло).
- 2007 г.** Открыта возможность использования стволовых клеток для введения в организм генных модификаторов (М. Канекки и др.).
- 2009 г.** Открыт механизм защиты теломерных (концевых) отделов хромосом ферментом теломеразой (Э. Блекберн и др.).

Список рекомендуемой литературы

1. Агафонова И. Б., Сивоглазов В. И. Биология животных. Материалы для подготовки к единому государственному экзамену и вступительным экзаменам в вузы: учебное пособие. — М.: Дрофа, 2010. — (Выпускной / вступительный экзамен).
2. Агафонова И. Б., Сивоглазов В. И. Биология растений, грибов, лишайников. Материалы для подготовки к единому государственному экзамену и вступительным экзаменам в вузы: учебное пособие. — М.: Дрофа, 2010. — (Выпускной / вступительный экзамен).
3. Биология / под ред. акад. РАН проф. В. Н. Ярыгина. — М.: Медицина, 2015.
4. Биология. Тематические тестовые задания / В. Б. Захаров, А. Ю. Цибулевский, Н. И. Сонин, Я. В. Скворцова. — М.: Дрофа, 2011. — (Готовимся к ЕГЭ).
5. Глик Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология: принципы и применение. — М.: Мир, 2002.
6. Голиченков В. А. Эмбриология. — М.: Изд-во МГУ, 2004.
7. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. В 3 т. — М.: Мир, 2004.
8. Жимулев И. Ф. Общая и молекулярная генетика. — Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2002.
9. Козлова Т. А., Кучменко В. С. Биология в таблицах. 6—11 классы: справочное пособие. — М.: Дрофа, 2005.
10. Маклакова А. С., Жуйкова С. Е. Биология: учебное пособие. — М.: Дрофа, 2008. — (Выпускной / вступительный экзамен).
11. Мамонтов С. Г. Биология: учебное пособие. — М.: Дрофа, 2014. — (Выпускной / вступительный экзамен).
12. Мамонтов С. Г., Захаров В. Б., Козлова Т. А. Биология. — М.: Академия, 2015.
13. Маркина В. В., Татаренко-Козмина Т. Ю. Общая биология. — М.: Дрофа, 2008. — (Выпускной / вступительный экзамен).
14. Медников Б. М. Биология: формы и уровни жизни. — М.: Просвещение, 1994.
15. Мишакова В. Н., Дорогина Л. В., Агафонова И. Б. Решение задач по генетике: учебное пособие. — М.: Дрофа, 2010.
16. Сухова Т. С., Козлова Т. А., Сонин Н. И. Общая биология. 10—11 классы: рабочая тетрадь. — М.: Дрофа, 2002.

17. *Фросин В. Н., Сивоглазов В. И.* Биология. Животные. 7 класс. Тематические тестовые задания. — М.: Дрофа, 2011. — (ЕГЭ: шаг за шагом).
18. *Фросин В. Н., Сивоглазов В. И.* Биология. Растения. Грибы. Лишайники. 6 класс. Тематические тестовые задания. — М.: Дрофа, 2011. — (ЕГЭ: шаг за шагом).
19. *Фросин В. Н., Сивоглазов В. И.* Биология. Общая биология. 9—11 классы. Тематические тестовые задания. — М.: Дрофа, 2011. — (ЕГЭ: шаг за шагом).
20. *Фросин В. Н., Сивоглазов В. И.* Биология. Человек. 8 класс. Тематические тестовые задания. — М.: Дрофа, 2011. — (ЕГЭ: шаг за шагом).
21. *Хабарова Е. И., Панова С. А.* Экология в таблицах. 10 (11) класс: справочное пособие. — М.: Дрофа, 2001.
22. *Ченцов Ю. С.* Введение в клеточную биологию. — М.: Академкнига, 2004.
23. *Щелкунов С. Н.* Генетическая инженерия. — Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2004.
24. *Яблоков А. В., Юсуфов А. Г.* Эволюционное учение. — М.: Высшая школа, 2004.

Оглавление

Предисловие.....	3
------------------	---

Раздел

1

Учение об эволюции органического мира

Глава 1	Закономерности развития живой природы. Эволюционное учение	6
1.1.	История представлений о развитии жизни на Земле	7
1.1.1.	Античные и средневековые представления о сущности и развитии жизни	7
1.1.2.	Система органической природы К. Линнея	9
1.1.3.	Развитие эволюционных идей. Эволюционная теория Ж.-Б. Ламарка	11
1.2.	Предпосылки возникновения теории Ч. Дарвина	16
1.2.1.	Естественно-научные предпосылки теории Ч. Дарвина	16
1.2.2.	Экспедиционный материал Ч. Дарвина	18
1.3.	Эволюционная теория Ч. Дарвина	22
1.3.1.	Учение Ч. Дарвина об искусственном отборе ..	22
1.3.2.	Учение Ч. Дарвина о естественном отборе	29
1.4.	Современные представления о механизмах и закономерностях эволюции. Микроэволюция	36
1.4.1.	Вид	36
1.4.2.	Материал для естественного отбора	40
1.4.3.	Генетические процессы в популяциях	46
1.4.4.	Формы естественного отбора	50
1.4.5.	Приспособленность организмов к условиям внешней среды как результат действия естественного отбора	57
1.4.6.	Видообразование как результат микроэволюции	71
Глава 2	Макроэволюция. Биологические последствия приобретения приспособлений	80
2.1.	Главные направления биологической эволюции.	80
2.2.	Пути достижения биологического прогресса — главные направления прогрессивной эволюции	82
2.2.1.	Арогенез	83
2.2.2.	Аллогенез	83

2.2.3. Катагенез	86
2.3. Основные закономерности биологической эволюции	88
2.3.1. Закономерности эволюционного процесса	89
2.3.2. Правила эволюции	92
Глава 3 Развитие жизни на Земле	98
3.1. Развитие жизни в архейской и протерозойской эрах	104
3.2. Развитие жизни в палеозойской эре	106
3.3. Развитие жизни в мезозойской эре	117
3.4. Развитие жизни в кайнозойской эре	120
Глава 4 Происхождение человека	127
4.1. Положение человека в системе животного мира	129
4.2. Эволюция приматов	131
4.3. Стадии эволюции человека	136
4.4. Современный этап эволюции человека	142

Раздел 2

Взаимоотношения организма и среды

Глава 5 Биосфера, её структура и функции	150
5.1. Структура биосферы	151
5.1.1. Косное вещество биосферы	151
5.1.2. Живые организмы (живое вещество)	154
5.2. Круговорот веществ в природе	155
Глава 6 Жизнь в сообществах. Основы экологии	162
6.1. История формирования сообществ живых организмов	163
6.2. Биogeография. Основные биомы суши	165
6.2.1. Неарктическая область	166
6.2.2. Палеарктическая область	167
6.2.3. Восточная область	169
6.2.4. Неотропическая область	171
6.2.5. Эфиопская область	172
6.2.6. Австралийская область	174
6.3. Взаимоотношения организма и среды	176
6.3.1. Естественные сообщества живых организмов	176
6.3.2. Абиотические факторы среды	180

6.3.3. Взаимодействие факторов среды.	
Ограничивающий фактор	187
6.3.4. Биотические факторы среды	191
6.3.5. Смена биоценозов	197
6.4. Взаимоотношения организмов	199
6.4.1. Позитивные отношения — симбиоз.	199
6.4.2. Антибиотические отношения	204
6.4.3. Нейтрализм	218
Глава 7 Биосфера и человек. Ноосфера	221
7.1. Воздействие человека на природу в процессе становления общества	221
7.2. Природные ресурсы и их использование.	224
7.2.1. Неисчерпаемые ресурсы.	224
7.2.2. Исчерпаемые ресурсы.	224
7.3. Последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды	227
7.3.1. Загрязнение воздуха	227
7.3.2. Загрязнение пресных вод	229
7.3.3. Загрязнение Мирового океана.	229
7.3.4. Антропогенные изменения почвы	230
7.3.5. Влияние человека на растительный и животный мир	232
7.3.6. Радиоактивное загрязнение биосферы	234
7.4. Охрана природы и перспективы рационального природопользования.	235
Глава 8 Бионика	241
Заключение	250
Приложение	251
Основные вехи в развитии биологии	256
Список рекомендуемой литературы	262

Учебное издание

Захаров Владимир Борисович
Мамонтов Сергей Григорьевич
Сонин Николай Иванович
Захарова Екатерина Тимофеевна

БИОЛОГИЯ
ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ
11 класс

Углублённый уровень

Учебник

Центр биологии, химии, экологии и естествознания

Ответственный редактор *Н. Ю. Спиридонова*

Художественные редакторы *М. Г. Мицкевич, А. А. Шувалова*

Художественное оформление *М. Г. Мицкевич*

Художники *Л. Я. Александрова, П. А. Жиличкин, А. В. Юдин*

Технический редактор *С. А. Толмачева*

Компьютерная вёрстка *Т. В. Рыбиной*

Корректор *Е. С. Осташкова*

Подписано в печать 18.08.2021. Формат 70×100/16. Гарнитура «Прагматика».
Усл. печ. л. 20,7. Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение». Российская Федерация,
127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, этаж 4, помещение I.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — **vopros@prosv.ru**.